

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ



УДК 699.86

DOI: 10.17673/Vestnik.2021.04.8

Ю. С. ВЫТЧИКОВ
А. Ю. ВЫТЧИКОВ
М. Е. САПАРЁВ
А. А. ЧУЛКОВ

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА РАСХОДА ТЕПЛА НА ОТОПЛЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ

FEATURES OF CALCULATION OF HEAT CONSUMPTION
FOR HEATING ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS

В связи с реализацией программы энергосбережения в строительстве существенно повысились нормативные требования по теплозащите ограждающих конструкций, что привело к строительству энергоэффективных зданий, обладающих незначительным энергопотреблением. В статье представлены результаты теплотехнического расчета 8-этажного жилого здания, строящегося в Самаре. Наружные стены первых двух этажей утеплены фасадной системой, верхних этажей – выполнены в виде колодезной кладки, в качестве утеплителя которой запроектирована тепловая изоляция в виде кассеты из трех листов пенофола, смонтированных на деревянном каркасе. Произведена оценка энергетической эффективности указанного здания и осуществлен анализ влияния приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены на величину удельного расхода тепла на отопление здания, а также повышенных теплопотерь в оконных откосах на энергозатраты в жилом здании.

Ключевые слова: энергосбережение, тепловые потери, удельный расход тепловой энергии, энергетическая эффективность

При проектировании систем отопления теплопотери ограждающими конструкциями, как правило, оцениваются по величине сопротивления теплопередаче гладкой стены. При этом не учитываются дополнительные теплопотери на оконных откосах, наружных углах здания, а также в местах расположения теплопроводных включений.

In connection with the implementation of the energy saving program in construction, the regulatory requirements for thermal protection of enclosing structures have significantly increased, which has led to the construction of energy efficient buildings with low energy consumption. The article presents the results of the heat engineering calculation of an 8-storey residential building under construction in the city of Samara. The outer walls of the first two floors are insulated with a facade system, the upper floors are made in the form of well masonry, as a heater for which thermal insulation is designed in the form of a cassette of three sheets of foam foam, mounted on a wooden frame. An assessment of the energy efficiency of the above-mentioned building was made and an analysis was made of the influence of the reduced resistance to heat transfer of the outer wall on the value of the specific heat consumption for heating the building, as well as increased heat loss in window slopes on the energy consumption in a residential building.

Keywords: energy saving, heat losses, specific heat consumption, energy efficiency

При проведении теплотехнического расчета строительных ограждающих конструкций указанные выше теплопотери необходимо учитывать путем введения коэффициента теплотехнической однородности r , значение которого находится в интервале $0,75 \leq r \leq 1$.

Для определения величины r можно использовать рекомендации, приведенные в СТО

00044807-001-2006 «Теплозащитные свойства ограждающих конструкций. РОИС». Данные по коэффициенту теплотехнической однородности, приведенные в указанном стандарте, логично использовать лишь при предварительном расчете ограждающих конструкций. Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», коэффициент теплотехнической однородности следует определять по температурным полям, полученным экспериментальным или расчетным путем. Вопросам совершенствования методики теплотехнического расчета энергоэффективных зданий посвящены работы [1–3]. Расчет температурных полей рекомендуется выполнять с помощью специализированной программы THERM 7.6, базирующейся на использовании метода конечных элементов.

Оценка влияния теплофизических характеристик строительных ограждающих конструкций на расход тепловой энергии была выполнена при разработке проекта на строительство 8-этажного жилого дома в Самаре.

Наружные стены на первых двух этажах по проекту выполнены из силикатного кирпича толщиной 0,64 м. Утепление стен наружное с использованием пенополистирола толщиной 0,11 м в качестве теплоизоляционного материала. Снаружи утеплитель защищен штукатуркой, выполненной цементно-песчаным раствором толщиной 0,03 м.

Колодцевая кладка наружных стен с 3 по 8 этажи выполнялась комбинированной. Из-

нутри она выполнена из силикатного кирпича толщиной 0,51 м, снаружи – из керамического кирпича толщиной 0,13 м. Перевязка через 5 рядов выполнена силикатным кирпичом толщиной 0,38 м и керамическим кирпичом толщиной 0,25 м. В воздушном зазоре толщиной 0,04 м установлена кассета, выполненная из трех листов пенофола толщиной 4 мм, защищенных алюминиевой фольгой. Листы пенофола монтируются на деревянном каркасе и играют роль тепловых экранов.

Покрытие выполнено из железобетонных пустотных плит толщиной 0,22 м, утеплено жесткими плитами из штапельного стекловолокна URSA П-75. По утеплителю проектом предусмотрена стяжка из керамзитобетона толщиной 0,1 м и цементно-песчаного раствора толщиной 0,02 м. Кровельная часть покрытия выполнена из трех слоев изоплоста, в том числе изоплоста с крупнозернистой насыпкой.

Подвал под жилым домом отапливаемый. В жилых помещениях предусмотрена установка оконных блоков в деревянных переплетах.

Теплотехнические расчеты строительных ограждающих конструкций выполнялись по методике, изложенной в СП 50.13330.2012, а расчеты влажностного режима – с помощью метода безразмерных характеристик [4].

Результаты теплотехнического расчета ограждающих конструкций приведены в таблице.

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций

Тип ограждающей конструкции	Базовое значение сопротивления теплопередаче R_0^{mp} , (м ² ·°С)/Вт	Фактическое значение приведенного сопротивления теплопередаче R_0^{np} , (м ² ·°С)/Вт
Фрагмент наружной стены 1–2-го этажей (исполнение 1)	3,19	2,895
Фрагмент наружной стены 3–8-го этажей (исполнение 2)	3,19	2,255
Оконные блоки	0,53	0,59
Покрытие	4,76	4,89

Из указанных в таблице данных можно сделать вывод, что наружные стены не удовлетворяют условию энергосбережения по значению приведенного сопротивления теплопередаче. Поэтому энергетическая эффективность оценивалась по величине удельного расхода тепла на отопление здания. В работах [5–7] представлены мероприятия, направленные на снижение расхода тепла на отопление зданий.

Минимальный нормируемый уровень теплозащиты ограждающих конструкций определяется согласно СП 50.13330.2012 по формуле

$$R_0^{norm} = m_p \times R_0^{mp}, \text{ (м}^2 \cdot \text{°С/Вт)}, \quad (1)$$

где R_0^{mp} – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче, (м²·°С/Вт), принимаемое по величине градусо-сутки отопительного периода; m_p – районный коэффициент, принимаемый для наружных стен не менее 0,63.

С учетом данных таблицы нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче составило 2,0 (м²·°С/Вт). Следовательно, наружные стены удовлетворяют нормативным требованиям по теплозащите.

Удельный расход тепловой энергии на отопление здания в холодный и переходный периоды года определялся по формуле

$$q_h^y = 10^3 \times Q_h^y / (A_h \times D_d), \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{сут}), \quad (2)$$

где Q_h^y – годовой расход тепла на отопление здания, МДж; A_h – отапливаемая площадь здания, м²; D_d – количество градусо-суток отопительного периода, °C·сут.

Для определения потребности в теплоте на отопление здания были рассчитаны потери теплоты через ограждающие конструкции помещений. Расчет выполнен в соответствии с методикой, изложенной в СП 60.133030.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

Расчет показал следующее:

- расчетные трансмиссионные теплотопотери здания составляют 240891 Вт;
- расход теплоты на нагрев вентиляционного воздуха в жилой части здания из расчета 3 м³/ч на 1 м² площади жилых помещений и кухня – 228200 Вт;
- расход теплоты на нагрев вентиляционного воздуха общественных помещений первого этажа – 29260 Вт;
- бытовые тепловыделения в жилой части здания – 45420 Вт.

Таким образом, максимальный расчетный часовой расход теплоты составил 452931 Вт. Отапливаемая площадь здания принималась как суммарная площадь этажей здания, измеряемая в пределах внутренних поверхностей наружных стен, включая площадь лестничных клеток и лифтовых шахт, и составляет 9390 м².

Удельный расход тепловой энергии на отопление здания равен $q_h^y = 83,4$ кДж/(м²·°C·сут).

Проектируемое здание жилого дома при подключении его системы отопления к автономной котельной имеет, согласно СП 50.13330.2012, категорию энергоэффективности – «повышенную». Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление здания составил 83,4 кДж/(м²·°C·сут), что ниже требуемого удельного расхода тепловой энергии системой отопления проектируемого здания при подключении его к автономной крышной или модульной котельной на газе (126 кДж/(м²·°C·сут)).

Для оценки влияния теплофизических характеристик наружных стен на энергетическую эффективность проектируемого здания был выполнен расчет теплопотерь без учета влияния оконных откосов, наружных углов и теплопроводных включений на значение приведенного сопротивления теплопередаче, т. е. расчет проводился для гладких наружных стен.

Расчетные трансмиссионные теплотопотери здания составили 201720 Вт.

Максимальный расчетный часовой расход теплоты – 413760 Вт. Таким образом, можно сделать вывод, что учет влияния оконных откосов, наружных углов, теплопроводных включений приводит:

- к сокращению трансмиссионных теплотопотерь на 16 %;
- к уменьшению расхода тепла на отопление проектируемого жилого здания на 10 %.

Далее на примере рассматриваемого 8-этажного жилого дома проводилось исследование влияния приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента наружной стены на трансмиссионные теплотопотери через ограждающие конструкции и на максимальный расчетный часовой расход теплоты. Для различных приведенных сопротивлений теплопередаче наружных стен, находящихся в диапазоне значений от 1 до 4 (м²·°C·сут)/Вт, определялись трансмиссионные теплотопотери через ограждающие конструкции. Производилась оценка влияния трансмиссионных теплотопотерь через наружные стены, оконные откосы, окна и теплотопотерь на нагрев инфильтрующегося воздуха на максимальный расчетный часовой расход теплоты, при различных значениях сопротивления теплопередаче наружных стен.

На рис. 1 представлена зависимость трансмиссионных теплотопотерь через наружные стены, включая оконные откосы, и максимального расчетного часового расхода теплоты от приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента наружной стены.

Из представленных данных на рис. 1 можно сделать вывод, что с увеличением значения приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен от 1 до 2 (м²·°C)/Вт трансмиссионные теплотопотери через наружные стены уменьшаются в два раза, максимальный расход тепла на отопление здания – в 1,33 раза. Дальнейшее увеличение $R_{отп}$ до значения 3,19 (м²·°C)/Вт приводит к уменьшению максимального расхода тепла в 1,46 раза. Следовательно, увеличить приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены выше значения, соответствующего второму этапу энергосбережения, нерационально, так как при этом резко увеличивается стоимость строительства.

Далее на рис. 2 показано соотношение относительных долей (трансмиссионных теплотопотерь через наружные стены, включая оконные откосы, окна, и теплотопотерь на нагрев инфильтрующегося воздуха) в максимальном расчетном часовом расходе теплоты при изменении приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены.

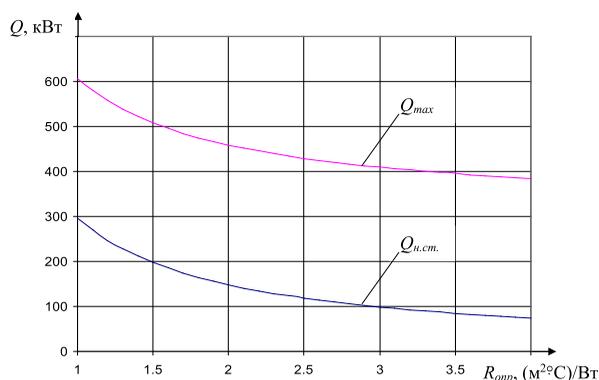


Рис. 1. Зависимость трансмиссионных теплотерь через наружные стены и максимального расчетного часового расхода теплоты от приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены: $Q_{н.ст.}$ – трансмиссионные теплотери через наружные стены и оконные откосы, кВт; Q_{max} – максимальный расчетный часовой расход теплоты, кВт

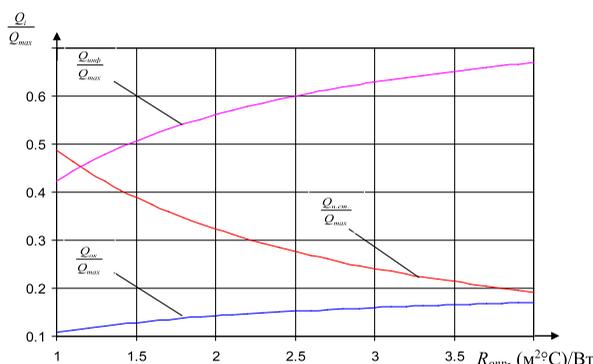


Рис. 2. Зависимость относительных долей $Q_{н.ст.}/Q_{max}$, $Q_{ок}/Q_{max}$, $Q_{инф}/Q_{max}$ от приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены: $Q_{н.ст.}/Q_{max}$ – доля трансмиссионных теплотерь через наружные стены и оконные откосы; $Q_{ок}/Q_{max}$ – доля трансмиссионных теплотерь через оконные конструкции; $Q_{инф}/Q_{max}$ – доля теплотерь на нагрев инфильтрирующегося воздуха

Сравнительный анализ вклада различных видов теплотерь, приведенный на рис. 2, показывает, что с увеличением $R_{опр}$ наружных стен увеличивается относительная доля теплотерь на нагрев инфильтрирующегося воздуха и теплотерь через оконные конструкции.

Однако расчетные теплотери на нагрев инфильтрирующегося воздуха уменьшить нельзя, так как они продиктованы санитарными нормами. При этом фактические теплотери необходимо уменьшить до расчетных, используя герметичные окна и оконные откосы. Единственным реальным способом дальнейшего сокращения теплотерь является использование энергоэффективных светопрозрачных

конструкций, обладающих повышенным сопротивлением теплопередаче.

Результатом проведенных исследований является оценка энергетической эффективности зданий, определяемая расчетным значением удельного расхода тепловой энергии на отопление здания.

На рис. 3 приведена зависимость удельного расхода тепловой энергии на отопление здания от приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены.

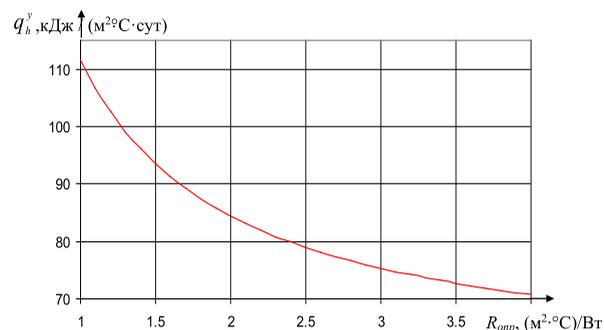


Рис. 3. Зависимость удельного расхода тепловой энергии на отопление здания от приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены

Характер изменения удельного расхода тепловой энергии на отопление здания, представленный на рис. 3, соответствует изменению максимального расхода тепла на отопление здания.

Выводы. Анализ удельных потерь на отопление через гладь наружной стены показал, что увеличение её приведенного сопротивления теплопередаче выше нормативного значения, представленного в СП 50.13330 «Тепловая защита зданий», нецелесообразно. Дополнительным мероприятием по повышению энергоэффективности здания в этом случае является увеличение теплозащитных характеристик светопрозрачных ограждающих конструкций. Результаты проведенного исследования необходимо учитывать при проектировании систем отопления зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кочев А.Г., Сергиенко А.С. Решение задачи по расчету температурных полей оконных откосов зданий // Российский научный журнал. 2015. № 3(46). С. 285–289.
2. Гагарин В.Г., Неклюдов А.Ю. Учет теплотехнических неоднородностей ограждений при определении тепловой нагрузки на систему отопления зданий // Жилищное строительство. 2014. № 6. С. 3–7.
3. Гагарин В.Г., Неклюдов А.Ю. Применение методики учета теплотехнических неоднородностей

ограждающих конструкций из актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита» для расчета нагрузки на системы отопления и охлаждения зданий // Инженерные системы. АВОК Северо-Запад. 2015. № 2. С.10–14.

4. Выхчиков Ю.С., Сапарев М.Е. Применение метода безразмерных характеристик к расчету влажностного режима многослойных строительных ограждающих конструкций // Градостроительство и архитектура. 2020. № 2(39). С.10–15. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.2.

5. Неклюдов А.Ю. Расчет характеристик энергопотребления здания при определении трансмиссионных тепловых потерь // Жилищное строительство. 2016. № 7. С. 11–14.

6. Матросов Ю.А., Бутовский И.Н. Стратегия по нормированию теплозащиты зданий с эффективным использованием энергии // Жилищное строительство. 1999. № 1. С. 3–8.

7. Выхчиков Ю.С., Чулков А.А., Голиков В.А. Уточненная методика расчета натопа в помещениях зданий при прерывистом отоплении // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, no. 2. С. 9–14. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.02.

6. Matrosov Yu.A., Butovsky I.N. Strategy for the regulation of thermal protection of buildings with efficient use of energy. *ZHilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction], 1999, no. 1, pp. 3–8. (in Russian)

7. Vytchikov Yu.S., Chulkov A.A., Golikov V.A. An Updated Method for Heating Calculating in Buildings with Intermittent Heating. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 9–14. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.02.

REFERENCES

1. Kochev A.G., Sergienko A.S. Solving the problem of calculating the temperature fields of window slopes of buildings. *Rossiyskiy nauchnyy zhurnal* [Russian Scientific Journal], 2015, no. 3 (46), pp. 285–289. (in Russian)

2. Gagarin V.G., Neklyudov A.Yu. Consideration of heat engineering inhomogeneities of fences when determining the heat load on the heating system of buildings. *ZHilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction], 2014, no. 6, pp. C. 3–7. (in Russian)

3. Gagarin V.G., Neklyudov A.Yu. Application of the methodology for accounting for heat engineering inhomogeneities of enclosing structures from the updated edition of SNiP “Thermal Protection” for calculating the load on heating and cooling systems of buildings. *Inzhenernye sistemy. AVOK Severo-Zapad* [Engineering systems. AVOK North-West], 2015, no. 2, pp.10–14. (in Russian)

4. Vytchikov Yu.S., Saparev M.E. Application of the method of dimensional characteristics to the calculation of the humidity mode of multi-layered enclosing building structures. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, no. 2(39), pp.10–15. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.2.

5. Neklyudov A.Yu. Calculation of the characteristics of the energy consumption of a building when determining transmission heat losses. *ZHilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction], 2016, no. 7, pp. 11–14. (in Russian)

Об авторах:

ВЫТЧИКОВ Юрий Серафимович

кандидат технических наук, доцент, профессор
кафедры теплогазоснабжения и вентиляции
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: git.2008@mail.ru

ВЫТЧИКОВ Алексей Юрьевич

старший научный сотрудник Центра
энергосбережения в строительстве
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: git.2008@mail.ru

САПАРЁВ Михаил Евгеньевич

кандидат технических наук, доцент кафедры
теплогазоснабжения и вентиляции
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: msx072007@yandex.ru

ЧУЛКОВ Александр Анатольевич

инженер Центра энергосбережения в строительстве
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
e-mail: ch_aleks01@mail.ru

VYTCHEKOV Yuri S.

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Professor
of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: git.2008@mail.ru

VYTCHEKOV Alexey Yr.

Senior Researcher at the Center for Energy Saving
in Construction
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: git.2008@mail.ru

SAPAREV Mikhail E.

PhD in Engineering Science, Associate Professor
of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: msx072007@yandex.ru

CHULKOV Alexander A.

Engineer of the Center for Energy Saving in Construction
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: ch_aleks01@mail.ru

Для цитирования: Вытчиков Ю.С., Вытчиков А.Ю., Сапарёв М.Е., Чулков А.А. Особенности расчета расхода тепла на отопление энергоэффективных зданий // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 4. С. 66–71. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.04.8.

For citation: Vytchikov Yu.S., Vytchikov A.Yu., Saparev M.E., Chulkov A.A. Features of Calculation of Heat Consumption for Heating Energy-Efficient Buildings. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021. Vol. 11, no. 4. Pp. 66–71. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.04.8.