

УДК 697.13

Е.Г. МАЛЯВИНА, А.В. ЗДРОНОК, Д.С. ОЗЕРЧУК

## **СВЯЗЬ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ И СЕЗОННЫХ ЗАТРАТ ТЕПЛОТЫ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РФ**

Исследовано влияние климатических характеристик района строительства на расчетные трансмиссионные и инфильтрационные теплотери жилого пятиэтажного здания. Рассмотрено расположение жилого дома в шести городах РФ от Сочи и Феодосии до Воркуты. Показано, что хотя между расчетной температурой наружного воздуха в зимний период и средней за отопительный период температурой наружного воздуха существует неоднозначная связь, тем не менее пользоваться вычисленной из этой связи температурой отопительного периода для оценки расхода теплоты за отопительный период невозможно из-за большой ошибки. На суммарную тепловую нагрузку на отопление значительно влияет скорость ветра как в расчетный зимний период, так и в течение отопительного периода.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** средняя температура наиболее холодной пятидневки, средняя температура отопительного периода, продолжительность отопительного периода, расчетная тепловая нагрузка на систему отопления, потребление теплоты за отопительный период.

DOI 10.32683/0536-1052-2020-742-10-33-40

Теплозащита здания влияет на мощность систем поддержания теплового микроклимата в его помещениях [1–5] и на потребление теплоты при отоплении [6–11], причем обе характеристики определяются климатическими показателями района строительства. Бытует мнение [12], что мощность инженерных систем прямо связана с годовым расходом теплоты.

Для выяснения связи между указанными определяющими факторами были выполнены расчеты мощностей систем отопления и годовых затрат теплоты на отопление жилого здания.

Пятиэтажный жилой дом имеет размеры 29,78×11,98 м, с высотой этажа от пола до пола 3,2 м. Чердак и подвал неотапливаемые. Высота вентиляционной шахты над чердачным перекрытием 3,9 м. Площади наружных ограждающих конструкций приведены в табл. 1.

Рассматривались теплотери и требуемые расходы теплоты на отопление в шести городах РФ. В табл. 2 представлены использованные в расчетах показатели отопительного периода городов, расположенных в различных районах нашей страны. Далее в таблицах города поставлены по убыванию расчетной температуры наружного воздуха для отопления (наиболее низкая – последняя).

В статье [12] показано, что между параметрами наружного воздуха, относящимися к расчетному зимнему периоду и средним величинам отопительного периода, имеется корреляционная связь: низким значениям средней

Таблица 1. Площади ограждающих конструкций, ориентированные на различные стороны света, м<sup>2</sup>

Сторона света	Площадь				
	наружных стен	окон	входных дверей	перекрытия	
				над подвалом	чердачного
СВ	363,20	108	5,28	325,6	325,6
ЮВ	169,18	22,5			
ЮЗ	363,98	112,5			
СЗ	169,18	22,5			

Таблица 2. Климатическая характеристика городов, принятых для расчетов

Район строительства	Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С	Средняя температура воздуха за отопительный период, °С	Продолжительность отопительного периода, сут	Расчетная скорость ветра, м/с	Средняя скорость ветра, м/с, за период со средней суточной температурой воздуха ≤8 °С	Градусо-сутки отопительного периода, °С · сут/год
Сочи	-2	6,6	94	2,5	3,5	1259
Феодосия	-12	3,6	135	5,4	5 (по Керчи)	2214
Москва	-25	-2,2	205	2	2	4551
Магадан	-29	-7,5	279	4,8	3,9	7972
Улан-Удэ	-35	-10,3	230	2,1	1,9	6969
Воркута	-41	-9,1	306	10,1	5,8	8905

температуры наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 соответствуют низкие значения средней температуры отопительного периода и длительные продолжительности отопительного периода. Но эта связь не однозначна, и среднеотопительные температуры могут при одном и том же значении температуры наиболее холодной пятидневки отличаться от вычисленного по предлагаемым в [12] формулам более чем на 5 °С. Такое отклонение от реальной величины приведет к значительно искаженной оценке реального теплоснабжения системой отопления от среднесезонного значения.

Например, в населенных пунктах Оренбург и Ходовариха Ненецкого АО расчетная температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 равна -32 °С. Однако расхождения в средних температурах и продолжительностях отопительного периода таковы, что число градусо-суток в этих пунктах при температуре внутреннего воздуха 20 °С соответственно равны: 2710, 4554. По табл. 3 СП 50.13330.2020 этим значениям ГСОП соответствуют базовые нормируемые сопротивления теплопередаче наружных стен жилых зданий 2,35; 2,99 м<sup>2</sup> · °С/Вт. Чтобы удовлетворить нормы СП 50.13330.2012 по базовой теплозащите жилого дома и обеспечить доутепление стены в Ходоварихе по сравнению со стеной в Оренбурге потребуется (с учетом мостиков холода в конструкции, оцениваемых коэф-

Таблица 3. Теплотехнические характеристики наружных ограждающих конструкций

Район строительства	Наружные стены		Окна			Перекрытие над подвалом		Чердачное перекрытие		Входная дверь в здание	
	приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	расчетный коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	расчетный коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	расчетное сопротивление воздухопроницанию при $\Delta P = 10 \text{ Па}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{ч}/\text{кг}$	приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	расчетный коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	расчетный коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	расчетный коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$
Сочи	1,84	0,54	0,49	1,50	0,24	2,47	0,40	2,47	0,40	0,38	2,63
Феодосия	2,17	0,46	0,50	1,54	0,39	2,89	0,35	2,89	0,35	0,55	1,82
Москва	2,99	0,33	0,66	1,18	0,37	3,95	0,25	3,95	0,25	0,77	1,30
Магадан	4,09	0,24	0,747	1,09	0,74	5,35	0,19	5,35	0,19	0,85	1,18
Улан-Удэ	3,84	0,26	0,74	1,09	0,43	5,04	0,20	5,04	0,20	1,58	0,63
Воркута	4,52	0,22	0,76	1,09	0,80	5,91	0,17	5,91	0,17	1,05	0,95

фициентом теплотехнической однородности  $r = 0,85$ ) слой минеральной ваты с теплопроводностью  $0,05 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$  толщиной  $40 \text{ мм}$ .

Из табл. 2 следует, во-первых, что более низкой температуре наиболее холодной пятидневки может соответствовать не самая низкая средняя температура отопительного периода, а более продолжительный отопительный период может сопровождаться не самой низкой средней температурой. Эта мысль подтверждается сравнением упомянутых показателей для Магадана и Улан-Удэ. Во-вторых, интересно, что расчетная скорость ветра может быть меньше, чем средняя за отопительный период, как это происходит в Сочи. В то же время средняя скорость ветра отопительного периода может быть почти в 2 раза ниже расчетной для холодного периода скорости ветра (Воркута). Низкая скорость ветра может относиться как к городу с умеренно холодным климатом (Москва), так и с достаточно морозным (Улан-Удэ). А высокие скорости ветра наблюдаются и в южных (Феодосия), и в северных (Воркута) городах. Важно, что скорости ветра во многом определяют требуемую плотность окон и потребность в теплоте на нагрев инфильтрационного воздуха.

Климатические условия района строительства являются основными факторами, влияющими на принятый уровень теплозащиты жилого дома, основные показатели которой представлены в табл. 3, причем

в графе «Расчетный коэффициент теплопередачи» для окон приведены разности коэффициентов окна и стены. Табл. 3 подтвердила, что между базовыми требованиями к сопротивлениям теплопередаче ограждений и температурой наиболее холодной пятидневки прямой зависимости нет. Таким образом, уже на стадии сравнения теплотехнических показателей ограждающих конструкций можно констатировать значительные различия в величине этих показателей от ожидаемых при прямой их связи.

А вот расчетное сопротивление воздухопроницанию окон, хотя и не прямо, зависит от средней температуры наиболее холодной пятидневки, так как гравитационная часть разности давлений по обе стороны окна определяется с учетом этой температуры. Но суммарная разность давлений включает в себя ветровую часть, которая связана с квадратом расчетной скорости ветра. То есть можно было бы ожидать, что в городах с высокой расчетной скоростью ветра требовалось бы наибольшее сопротивление воздухопроницанию окон. Но выстроив города по убыванию скорости ветра: Воркута, Феодосия, Магадан, убеждаемся, что влияние гравитационной части разности давлений по обе стороны окна оказалось значительным: Феодосия в перечне по убыванию требуемых сопротивлений воздухопроницанию не вторая, а третья.

Влияние отдельных параметров наружной среды на трансмиссионные теплотери через отдельные ограждающие конструкции и на инфильтрационные можно проследить по табл. 4.

Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции в зависимости от числа градусо-суток отопительного периода в районе строительства для СП 50.13330.2012 принимались с расчетом на примерно одинаковые трансмиссионные теплотери на всей территории РФ. Однако из табл. 4 видно, что разброс трансмиссионных теплотерей особенно через окна значителен.

Показатели для изучения соотношений между расчетными теплотерями и требуемыми суммарными расходами теплоты на отопление рассматриваемого жилого дома в различных городах приведены в табл. 5.

Результаты, представленные в табл. 5, удивительны. Например, в Москве и трансмиссионные расчетные теплотери, и суммарные теплотери (читай, мощность системы отопления) оказались выше, чем в Магадане. За

**Таблица 4. Структура трансмиссионных теплотерей через наружные ограждающие конструкции, Вт**

Район строительства	Стены	Окна	Входные двери	Чердачное перекрытие	Перекрытие над подвалом
Сочи	16903	9230	1437	2159	1440
Феодосия	20871	13783	1616	2759	1840
Москва	21008	14851	1732	2779	1852
Магадан	16629	14938	1733	2301	1534
Улан-Удэ	20210	16767	1054	2720	1813
Воркута	18958	18596	1785	2565	1710

**Таблица 5. Расчетные теплопотери здания и расход теплоты на его отопление за отопительный сезон**

Район строительства	Расчетные теплопотери, Вт			Сезонные затраты теплоты, кВт · ч		
	трансмиссионные	инфильтрационные	суммарные	трансмиссионные	инфильтрационные	суммарные
Сочи	31169,84	3652,61	34822,45	42256,26	6318,62	48574,88
Феодосия	40869,32	7578,53	48447,86	66789,88	10658,02	77447,90
Москва	42222,48	6154,61	48377,08	101617,48	10146,67	111764,15
Магадан	37134,97	9030,93	46165,90	142333,29	25351,66	167684,96
Улан-Удэ	42564,63	7484,54	50049,17	128589,14	15137,30	143726,43
Воркута	43614,48	16926,48	60540,96	149660,48	26801,67	176462,15

счет высоких инфильтрационных теплопотерь в Феодосии суммарные теплопотери выше, чем в Москве, Магадане и Сочи. А вот Воркута по всем статьям теплопотерь победила все рассматриваемые города, так как в ней самое высокое значение градусо-суток отопительного периода и самая высокая расчетная скорость ветра.

Что касается инфильтрационных теплопотерь, то их величина в некотором смысле следует предположениям, изложенным выше: высокая средняя скорость ветра за отопительный период и низкая температура наружного воздуха приводят к высоким потребностям в теплоте на нагрев инфильтрационного воздуха. Даже Магадан по величине инфильтрационных теплопотерь обогнал Феодосию за счет низкой температуры наиболее холодной пятидневки.

А если сравнивать величину требуемых затрат теплоты на отопление в различных городах, то можно было бы отметить, что главенствующую роль в их величине играет число градусо-суток отопительного периода, если бы не величина инфильтрационных теплопотерь в Феодосии. Она опять оказалась выше, чем потребность в теплоте на нагрев инфильтрационного воздуха в Москве. Однако порядок городов по величине суммарных затрат теплоты на отопление жилых домов в рассмотренных городах подчинился зависимости от числа градусо-суток отопительного периода, не линейно, но все-таки...

**Выводы.** 1. При расчете тепловой нагрузки на систему отопления следует руководствоваться данными нормативных документов о расчетных климатических параметрах в холодный период года. Приближенные формулы расчета среднеотопительной температуры по величине средней температуры наиболее холодной пятидневки могут привести к значительным искажениям оценок реальной нагрузки на системы отопления.

2. Скорость ветра играет значительную роль в формировании инфильтрационных теплопотерь как в расчетный холодный период, так и в течение отопительного периода.

3. Однозначную связь суммарной тепловой нагрузки на систему отопления и числа градусо-суток отопительного периода нарушают инфильтрационные теплопотери, значительно зависящие от скорости ветра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Веселов А.В., Корниенко В.Д.* Новые направления в проектировании и строительстве энергоэффективных малоэтажных жилых домов // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2015. №7-8. С. 41–44.
2. *Березин Д.В.* Оценка тепловой эффективности вариантов архитектурно-средового решения заглубленного жилого здания // *Академ. вестник. УралНИИпроект РААСН*. 2016. № 3. С. 84–88.
3. *Tungjai K. Kubaha.* Indoor air quality evaluation of isolation room for hospital in Thailand // *Energy Procedia*. 2017. Vol. 138. P. 858–863.
4. *Lundström H., Mattsson M.* Radiation influence on indoor air temperature sensors: Experimental evaluation of measurement errors and improvement methods // *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2020. Vol. 115. 110082.
5. *Муравьев П.А., Лукина-Лебедева М.А., Таракин А.В., Горшков А.С.* Определение оптимальной толщины слоя теплоизоляции для наружных стен жилого многоквартирного здания // *Кровельные и изоляционные материалы*. 2017. № 1. С. 21–29.
6. *Грановский В.Л.* Индивидуальный учет тепловой энергии в многоквартирных домах: особенности, возможности, проблемы // *АВОК*. 2020. № 2. С. 45–53.
7. *Стахов А.Е.* Энергетическая оценка решений тепловой защиты с позиции жизненного цикла зданий // *АВОК*. 2020. № 4. С. 36–42.
8. *Kuczyński T., Staszczuk A.* Experimental study of the influence of thermal mass on thermal comfort and cooling energy demand in residential buildings // *Energy*. 2020. Vol. 195. 116984.
9. *Eugénio Rodrigue, Marco S. Fernandes, Adélio Rodrigues Gaspar, Álvaro Gome s, José J. Costa.* Thermal transmittance effect on energy consumption of Mediterranean buildings with different thermal mass // *Applied Energy*. 2019. Vol. 252. 113437.
10. *Malyavina E.G. and Frolova A.A.* Influence of solar radiation heat input into room on level of economically-efficient thermal protection of building. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 661. 012077.
11. *Malyavina E.G. and Gnezdilova E.A.* The effect of the building blind area heat insulation on heat losses through the floor on the ground // *FORM-2020 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 869. 042017.
12. *Самарин О.Д.* О подтверждении вероятностно-статистических соотношений между расчетными параметрами наружного климата // *Известия вузов. Строительство*. 2014. № 3. С. 66–69.

**Малявина Елена Георгиевна**, канд. техн. наук, проф.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

**Здоронок Андрей Владимирович**, студ.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

**Озерчук Дарья Сергеевна**, студ.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Получено 15.09.2020

**Malyavina Elena Georgievna**, PhD, Professor

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia

**Zdoronok Andrey Vladimirovich**, Student

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia

**Ozerchuk Dar'ya Sergeevna**, Student

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia

## **RELATIONSHIP BETWEEN THE HEAT OUTPUT OF THE BUILDING'S HEATING SYSTEM AND SEASONAL HEAT CONSUMPTION IN VARIOUS CLIMATIC CONDITIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION**

The influence of the climatic characteristics of the construction area on the design transmission and infiltration heat losses of a five-story residential building has been studied. The location of the residential building has been considered in six cities of the Russian Federation from Sochi and Feodosia to Vorkuta. It is shown that although there is an ambiguous relationship between the design outdoor air temperature in winter and the average outdoor air temperature in the heating period, nevertheless, it is impossible to use the temperature of the heating period calculated from this relationship to estimate the heat consumption for the heating period due to a large error. The heating total thermal load is significantly affected by the wind rate, both during the design winter period and within the heating period.

**Key words:** average temperature of the coldest five-day period, average temperature of the heating period, duration of the heating period, design heat load on the heating system, heat consumption for the heating period.

### **REFERENCES**

1. *Veselov A.V., Kornienko V.D.* Novye napravleniya v proektirovanii i stroitel'stve energoeffektivnykh maloetazhnykh zhilykh domov [New directions in the design and construction of energy-efficient low-rise residential buildings]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Construction materials, equipment, technologies of the XXI century]. 2015. No. 7-8. Pp. 41–44. (in Russian)
2. *Berezin D.V.* Otsenka teplovoy effektivnosti variantov arkhitekturno-sredovogo resheniya zaglubennogo zhilogo zdaniya [Assessment of thermal efficiency of architectural and environmental solutions for a buried residential building]. *Akadem. vestnik UralNIIproekt RAASN* [Akadem. Bulletin. Uralniiproekt RAACS]. 2016. No. 3. Pp. 84–88. (in Russian)
3. *Tungjai K. Kubaha.* Indoor air quality evaluation of isolation room for hospital in Thailand. *Energy Procedia*. 2017. Vol. 138. Pp. 858–863.
4. *Lundström H., Mattsson M.* Radiation influence on indoor air temperature sensors: Experimental evaluation of measurement errors and improvement methods. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2020. Vol. 115. 110082.
5. *Muravyev P.A., Lukina-Lebedeva M.A., Tarakin A.V., Gorshkov A.S.* Opredelenie optimal'noy tolshchiny sloya teploizolyatsii dlya naruzhnykh sten zhilogo mnogokvartirnogo zdaniya [Determination of the optimal thickness of the thermal insulation layer for the external walls of a residential multi-apartment building]. *Krovel'nye i izolyatsionnye materialy* [Roofing and insulation materials]. 2017. No. 1. Pp. 21–29. (in Russian)
6. *Granovskiy V.L.* Individual'nyy uchet teplovoy energii v mnogokvartirnykh domakh: osobennosti, vozmozhnosti, problemy [Individual heat metering in multi-apartment buildings: specific traits, opportunities, problems]. *AVOK* [AVOK]. 2020. No. 2. Pp. 45–53. (in Russian)
7. *Stakhov A.E.* Energeticheskaya otsenka resheniy teplovoy zashchity s pozitsii zhiznennogo tsikla zdaniy [Energy estimate of thermal protection solutions in terms of the buildings life cycle]. *AVOK* [AVOK]. 2020. No. 4. Pp. 36–42. (in Russian)
8. *Kuczyński T., Staszczuk A.* Experimental study of the influence of thermal mass on thermal comfort and cooling energy demand in residential buildings. *Energy*. 2020. Vol. 195. 116984.

9. *Eugénio Rodrigue, Marco S. Fernandes, Adélio Rodrigues Gaspar, Álvaro Gome s, José J. Costa.* Thermal transmittance effect on energy consumption of Mediterranean buildings with different thermal mass. *Applied Energy.* 2019. Vol. 252. 113437.
10. *Malyavina E.G. and Frolova A.A.* Influence of solar radiation heat input into ROom on level of economically-efficient thermal protection of building. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2019. Vol. 661. 012077.
11. *Malyavina E.G. and Gnezdilova E.A.* The effect of the building blind area heat insulation on heat losses through the floor on the ground. *FORM-2020 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.* 2020. Vol. 869. 042017.
12. *Samarin O.D.* O podtverzhdenii veroyatnostno-statisticheskikh sootnosheniy mezhdru raschetnymi parametrami naruzhnogo klimata [On verifying of probable and statistical correlation between design parameters of external climate]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2014. No. 3. Pp. 66–69. (in Russian)

---