

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

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПЕРЕКРЫТИЙ НАД НЕОТАПЛИВАЕМЫМ ПОДВАЛОМ ЗДАНИЯ КОТТЕДЖА, ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО В УСЛОВИЯХ ПРЕРЫВИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ

THERMOTECNICAL CALCULATION OF FLOORS ABOVE UNHEATED BASEMENT
IN COTTAGE EXPLOITED UNDER INTERMITTENT HEATING CONDITIONS

Представлена методика теплотехнического расчета перекрытия над неотапливаемым подвалом, эксплуатируемого в условиях прерывистого отопления. Разработанная методика основана на исследовании нестационарной задачи теплопередачи через ограждающие конструкции и учитывает теплоинерционные характеристики материалов, входящих в состав ограждения. На примере перекрытия над подвалом коттеджа с помощью представленной методики была проведена оценка энергозатрат и времени нагрева данной ограждающей конструкции при переходе с дежурного режима отопления на рабочий режим. На основании результатов расчета даны рекомендации по снижению энергозатрат на нагрев и уменьшению времени нагрева перекрытия в процессе прогрева помещения.

Ключевые слова: энергозатраты, прерывистое отопление, нестационарная теплопередача, перекрытие, время нагрева

В настоящее время в Российской Федерации реализуется программа индивидуального жилищного строительства. Коттеджи строят, как правило, в сельской местности и пригородной зоне, многие из которых эксплуатируются периодически, в основном в выходные дни и в период отпуска.

Согласно СП 50.13330.2012 уровень теплозащиты ограждающих конструкций таких зданий должен отвечать лишь санитарно-гигиеническим требованиям, так как условия энергосбережения на такие здания не распространяются.

Результаты исследования процесса нагрева несущих наружных стен, представленные в работах [1–4], показали, что энергозатраты при натепах помещений коттеджей достигают значительных величин, а время нагрева даже при наличии дежурного отопления составляет от 20 до 50 часов в зависимости от степени теплозащиты. Расчеты показали, что в целях уменьшения энергозатрат целесообразно располагать со стороны внутренней поверхности ограждающих конструкций материалы, обладающие незначительной теплоемкостью.

Поэтому при проектировании коттеджей необходимо учитывать динамические характеристики

The procedure of thermotechnical calculation of floor above unheated basement exploited under intermittent heating conditions is presented. Procedure in question is based on research of nonstationary problem of heat transfer through walling and takes into account thermo-inertial characteristics of walling materials. Through the example of floor above cottage basement is evaluated energy consumption and walling heating time in passing from stand-by mode to work mode with proposed procedure. Based on calculation results recommendations for energy and heating time saving are presented.

Keywords: power consumption, intermittent heating, non-stationary heat transfer, floor, heating time

ограждающих конструкций. Исследование динамических характеристик относится к задаче нестационарной теплопередачи через наружные стены и перекрытия. Методы решения задач нестационарной теплопроводности изложены в работах [5–21].

Авторами данной статьи рассматривается теплотехнический расчет перекрытия над неотапливаемым подвалом коттеджа с прерывистым отоплением.

Формула для определения удельных энергозатрат на нагрев многослойного перекрытия запишется в следующем виде:

$$Q_u = \sum_{i=1}^n c_i \cdot \rho_i \cdot \delta_i \cdot \Delta \tau_i, \text{ кДж/м}^2, \quad (1)$$

где c_i – удельная теплоемкость i -го слоя перекрытия, кДж/кг·°С; ρ_i – плотность i -го слоя перекрытия, кг/м³; δ_i – толщина i -го слоя перекрытия, м; $\Delta \tau_i$ – изменение температуры i -го слоя перекрытия, °С.

Изменение температуры i -го слоя перекрытия рассчитывается по формуле

$$\Delta \tau_i = t_{e2} - t_{e1} - \frac{t_{e2} + t_{n1} - t_{e1} - t_{n2}}{2 \cdot R_o} \cdot \left(\frac{2}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^{i-1} R_i + \sum_{i=1}^i R_i \right), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2)$$

где t_{e1}, t_{e2} – температуры внутреннего воздуха при работе дежурного отопления на расчетном режиме соответственно, $^\circ\text{C}$; t_{n1}, t_{n2} – температуры внутреннего воздуха в неотапливаемом подвале при дежурном отоплении и расчетном режиме соответственно, $^\circ\text{C}$; R_o – сопротивление теплопередаче глади наружной стены, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$; R_i – термическое сопротивление i -го слоя наружной стены, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$.

Значение температур t_{n1}, t_{n2} можно рассчитать из уравнения теплового баланса неотапливаемого подвала, руководствуясь методикой, изложенной в СП 23-101-2004.

Время нагрева перекрытий над подвалом определяется согласно [4] по формуле

$$\tau_n = 2 \frac{Q_n \cdot 10^3}{q_{om}} \cdot \frac{1 + 2\varphi}{1 + \varphi}, \text{ с}, \quad (3)$$

где Q_n – количество тепла, затрачиваемое на нагрев квадратного метра перекрытия, $\text{кДж}/\text{м}^2$; q_{om} – удельная тепловая мощность системы отопления на расчетном режиме, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

$\varphi = \frac{R_n}{R_n + R_k}$ – безразмерный критерий граничных условий;

$R_n = \frac{1}{\alpha_n}$ – термическое сопротивление процесса теплоотдачи, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$;

$R_k = \sum_{i=1}^n R_i$ – термическое сопротивление многослойного перекрытия пола, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$;

$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ – термическое сопротивление i -го слоя перекрытия, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, здесь δ_i – толщина i -го слоя перекрытия, м ; λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя перекрытия, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.

В качестве примера ниже приведен расчет перекрытия над неотапливаемым подвалом, представленный на рис. 1.

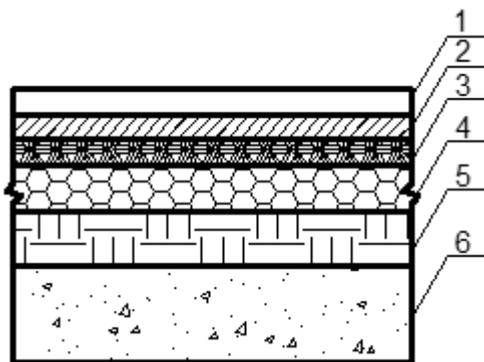


Рис. 1. Конструкция перекрытия над неотапливаемым подвалом:
1 – линолеум; 2 – подоснова; 3 – битумная мастика; 4 – монолитный пенобетон;
5 – пеноплекс; 6 – железобетонная плита перекрытия

Теплоинерционные свойства материалов конструкции перекрытия представлены в табл. 1.

Сопротивление теплопередаче перекрытия по результатам расчета составило $R_o = 1,94 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, что превышает нормативное значение $R_o^{np} = 1,71 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, коэффициент теплоусвоения поверхности пола составил $Y_n = 4,99 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, что существенно ниже нормативного значения $Y_n = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Следовательно, перекрытие над неотапливаемым подвалом отвечает современным требованиям, предъявляемым к ограждающим конструкциям.

Была произведена оценка энергозатрат и времени нагрева перекрытия в процессе натопа помещения. Принято расчетное значение температуры в помещении коттеджа $t_{e2} = 22 \text{ } ^\circ\text{C}$ при дежурном ото-

плении $t_{e1} = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$, температура наружного воздуха $t_n = -30 \text{ } ^\circ\text{C}$.

В подвале размещены газовый теплогенератор мощностью 50 кВт и трубопроводы системы отопления. Стены подвала расположены ниже уровня земли. Они утеплены снаружи пеноплексом толщиной 100 мм, защищенным цементно-песчаным раствором толщиной 20 мм и битумом.

Расчет температуры воздуха в подвале производился по методике, приведенной в СП 23-101-2004.

По результатам расчета температура в подвале при дежурном отоплении составила $2,9 \text{ } ^\circ\text{C}$, при расчетном режиме – $7,1 \text{ } ^\circ\text{C}$.

В табл. 2 представлены результаты расчета нагрева отдельных слоев перекрытия.

Таблица 1

Исходные данные для расчета перекрытия

№ слоя	Материал слоя	Толщина d_i , м	Плотность ρ_i , кг/м ³	Теплоемкость C_i , кДж/кг·°С	Коэффициент теплопроводности λ_i , Вт/м·°С
1	Линолеум	0,0015	1000	1,47	0,33
2	Подоснова	0,002	150	1,8	0,047
3	Битумная мастика	0,001	1000	1,68	0,17
4	Монолитный пенобетон	0,03	400	0,84	0,14
5	Пеноплекс	0,04	30	0,84	0,03
6	Ж.-б. плита перекрытия	0,12	2400	0,84	1,74

Таблица 2

Результаты расчета процесса нагрева перекрытия

№ слоя	Изменение температуры i-го слоя Δt_i , °С	Кол-во теплоты, затраченное на нагрев i-го слоя Q_i , кДж/м ²	Отношение теплоты, затраченной на нагрев i-го слоя, к теплоте, затраченной на нагрев всей конструкции $\frac{Q_i}{Q_n} \cdot 100, \%$
1	9,65	21,3	1,64
2	9,58	5,17	0,4
3	9,5	15,96	1,23
4	9,17	92,4	7,12
5	6,86	11,03	0,85
6	4,76	1151,5	88,8

На рис. 2 представлена зависимость энергозатрат, затраченных на нагрев слоев конструкции перекрытия, от термического сопротивления теплопередаче данных слоев.

Значения термического сопротивления теплопередаче соответствуют данным, полученным в резуль-

тате теплотехнического расчета каждого слоя и всей конструкции в целом.

Анализ данных, представленных в табл. 2 и на рис. 2, показывает, что основные энергозатраты приходятся на нагрев железобетонной плиты перекрытия.

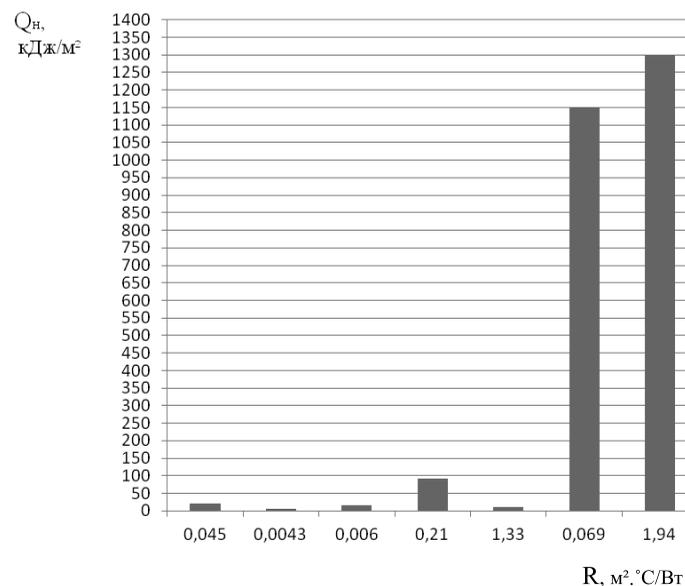


Рис. 2. Зависимость энергозатрат от термического сопротивления теплопередаче слоев конструкции перекрытия

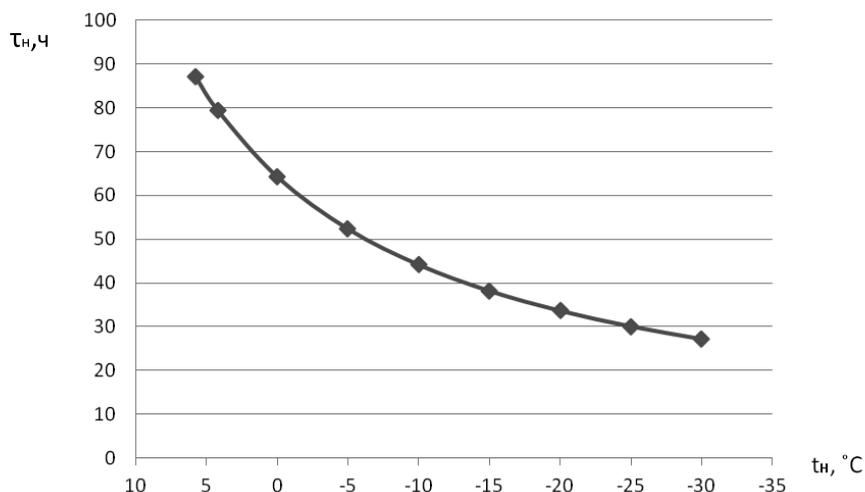


Рис. 3. График зависимости времени прогрева конструкции перекрытия от температуры наружного воздуха

Время нагрева перекрытия над неотапливаемым подвалом составило 85 часов.

Отопительный период в Самаре длится с октября по апрель. Средняя температура наружного воздуха в апреле составляет 5,8 °C, в октябре 4,2 °C по данным СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».

На рис. 3 представлен график зависимости времени прогрева конструкции перекрытия от температуры наружного воздуха в отопительный период.

На графике видно, что с уменьшением температуры наружного воздуха происходит уменьшение времени прогрева конструкции. Данный процесс происходит в связи с увеличением мощности системы отопления, в зависимости от температурного графика регулирования, при понижении температуры наружного воздуха.

Выводы:

1. Разработана методика теплотехнического расчета перекрытия над неотапливаемым подвалом зданий индивидуальной застройки, эксплуатируемых в условиях прерывистого отопления.
2. Для снижения энергозатрат на нагрев перекрытия над неотапливаемым подвалом следует рассматривать вопрос о замене железобетонной плиты перекрытия на керамзитобетонную, равноценную по несущей способности.
3. Для уменьшения времени нагрева перекрытия рекомендуется использовать его обогрев с помощью размещенных в нем электрических или водяных нагревателей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vytchikov Y.S., Belyakov I.G., Saparev M.E. Mathematical simulation of nonstationary process of heat transfer through the building cladding structures in conditions of intermittent heating // International research journal. Ekaterinburg, 2016, №6, Part 2. Pp. 42-48.
2. Vytchikov Yu.S., Belyakov I.G., Saparev M. Ye. Investigation of the thermal effect of building envelopes of individual building under intermittent heating // Procedia Engineering. 2016. T. 153. Pp. 856-861.
3. Vytchikov Y., Saparev M., Chulkov A. Analyzing screen heat insulation and its effect on energy consumption while heating building envelopes in conditions of intermittent heating // MATEC Web Conf. 5th International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education". 2016. Vol. 86. <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20168604019>.
4. Семёнов Б.А. Нестационарная теплопередача и эффективность теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Саратов: Саратовский государственный технический университет, 1996. 176 с.
5. Ковалевский В.И., Бойков Г.П. Методы теплового расчета экранной изоляции. М.: Энергия, 1974. 199 с.
6. Богословский В.Н. Тепловой режим здания. М.: Стройиздат, 1979. 248 с.
7. Анисимова Е.Ю. Энергоэффективность теплового режима здания при использовании оптимального режима прерывистого отопления // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 38 (297). С. 55-59.
8. Малявина Е.Г., Асатов Р.Р. Влияние теплового режима наружных ограждающих конструкций на нагрузку системы отопления при прерывистой подаче теплоты // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 324-327.

9. *Малявина Е.Г., Петров Д.Ю.* Сопряженный расчет нестационарного теплового режима водяной системы отопления и здания // Жилищное строительство. 2013. № 6. С. 66-69.
10. *Панферов В.И., Анисимова Е.Ю.* Анализ возможности экономии тепловой энергии при прерывистом режиме отопления // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2008. № 12(112). С. 30-37.
11. *Дацюк Т.А., Ивалев Ю.П., Пухкал В.А.* Моделирование теплового режима жилых помещений при прерывистом отоплении // Современные проблемы науки и образования. 2014. №5. С. 179.
12. *Горшков А.С., Рымкевич П.П.* Диаграммный метод описания процесса нестационарной теплопередачи // Инженерно-строительный журнал. СПб., 2015. № 8. С. 68-82.
13. *Горшков А.С., Рымкевич П.П., Ватин Н.Н.* Моделирование процессов нестационарного переноса тепла в стеновых конструкциях из газобетонных блоков // Инженерно-строительный журнал. СПб., 2014. № 8. С. 38-48.
14. *Рубашкина Т.Н.* Нестационарный расчет тепловой защиты ограждающих конструкций зданий // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск, 2014. № 2. С. 188-195.
15. *Захаревич А.Э.* Экономия тепловой энергии при прерывистом отоплении // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2014. № 1 (145). С. 64-67.
16. *Латин В.М.* Энергоэффективность отопительных приборов с различной тепловой инерцией на прерывистых режимах отопления // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2012. № 8. С. 48-51.
17. *Мишин М.А.* Исследование процессов остывания теплоносителя при прерывистом регулировании отопления // Ползуновский вестник. 2010. №1. С.146-150.
18. *Кузнецов Г.В., Шеремет М.А.* Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. 172 с.
19. *Табунчиков Ю.А.* Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.:АВОК-ПРЕСС, 2002. 194 с.
20. *Захаревич А.Э.* Экономия тепловой энергии при прерывистом отоплении // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2014. №1. С. 64-67.
21. *Чулков А.А., Вытчиков Ю.С., Кудинов И.В.* Исследование динамических характеристик отопительных приборов // Градостроительство и архитектура. 2016. №4(25). С. 44-48. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.04.8

Об авторах:

ЧУЛКОВ Александр Анатольевич

аспирант кафедры общей и прикладной физики и химии Самарский государственный технический университет
Архитектурно-строительный институт
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 242-14-96

CHULKOV Alexander A.

Post-Graduate Student of the General and Applied Physics and Chemistry Chair
Samara State Technical University
Institute of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 242-14-96

ВЫТЧИКОВ Юрий Серафимович

кандидат технических наук, профессор кафедры общей прикладной физики и химии Самарский государственный технический университет
Архитектурно-строительный институт
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

VYTCHEKOV Yuriy S.

PhD in Engineering Science, Professor of the General and Applied Physics and Chemistry Chair
Samara State Technical University
Institute of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 242-14-96

САПАРЕВ Михаил Евгеньевич

кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет
Архитектурно-строительный институт
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

SAPAREV Mikhail Ye.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair
Samara State Technical University
Institute of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194

Для цитирования: *Вытчиков Ю.С., Чулков А.А., Сапарёв М.Е.* Теплотехнический расчет перекрытий над неотапливаемым подвалом здания коттеджа, эксплуатируемого в условиях прерывистого отопления // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №2. С. 27-31. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.02.5.

For citation: *Vytchikov Yu.S., Chulkov A.A., Saparev M.Ye.* Thermotechnical calculation of floors above unheated basement in cottage exploited under intermittent heating conditions // Urban Construction and Architecture. 2017. V.7, 2. Pp. 27-31. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.02.5.