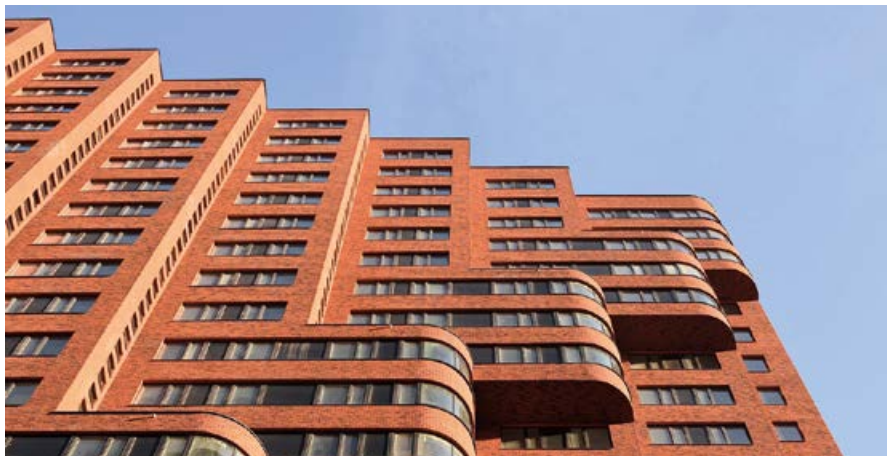




Расчёт времени охлаждения помещений в кирпичных домах

С целью определения времени охлаждения до 0°C помещений, находящихся в кирпичных домах, зимой при выключении отопления в настоящей работе предлагается методика расчёта, реализуемая через программу для ПК, написанную на языке программирования JavaScript. Данный язык программирования был выбран в связи с распространённостью поддерживающей его среды программирования (браузеры), что позволяет работать в онлайн-формате в любой операционной системе. Разработанная модель расчёта остывания помещений [1] использует следующие значения теплофизических и строительных параметров зданий:

1. Толщина стен, м.
2. Плотность материала стены, $\text{кг}/\text{м}^3$.
3. Теплоёмкость материала стены, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$.
4. Коэффициент теплопроводности материала стены, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$.
5. Коэффициент теплоотдачи воздух — материал стены, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$.
6. Коэффициент серости материала стен.
7. Площадь поверхности стен, граничащих с уличным воздухом, м^2 .
8. Начальная температура тёплых стен, $^{\circ}\text{C}$.
9. Температура наружного холодного воздуха, $^{\circ}\text{C}$.
10. Общая площадь поверхности окон в исследуемом помещении, м^2 .
11. Длина и высота помещения, м.

12. Толщина стёкол в окнах, м.
13. Количество стёкол n в стеклопакете.
14. Расстояние d между стёклами в стеклопакете, м.
15. Коэффициент теплопроводности стекла в стеклопакете, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$.
16. Коэффициент теплоотдачи стекла (стекло — воздух), установленного в стеклопакете $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$.
17. Расстояние L между гипсокартоновым экраном и кирпичной стеной, м.

В предлагаемой методике расчёта учитывались потери тепловой энергии здания через его окна и внешние стены за счёт процессов теплопроводности при контакте холодных поверхностей наружных стен и окон с тёплым воздухом помещения и за счёт потерь через тепловое излучение

В предлагаемой методике расчёта учитывались потери тепловой энергии здания через его окна и внешние стены, как за счёт процессов теплопроводности при контакте холодных поверхностей наружных стен и окон с тёплым воздухом помещения, так и за счёт потерь через тепловое излучение.

Рецензия эксперта на статью получена 18.05.2022 [The expert review of the article received on May 18, 2022].

УДК 699.86. Научная специальность: 05.23.03.

Расчёт времени охлаждения помещений в кирпичных домах

О. Б. Сельдюгаев, к.х.н., младший научный сотрудник; Л. А. Зиновьев, к.х.н., руководитель лаборатории; С. Г. Карстина, д.ф.-м.н., профессор кафедры физики и нанотехнологий, Карагандинский университет им. академика Е. А. Букетова (КарУ, г. Караганда, Республика Казахстан)

В работе представлены расчёты скорости охлаждения кирпичных помещений зимой при выключении отопления и их анализ. Анализ результатов показал, что в угловых комнатах кирпичных домов целесообразно устанавливать тройные стеклопакеты общей толщиной не менее 0,044 м и/или устанавливать на расстоянии 0,02 м от кирпичных стен гипсокартонные экраны по всей поверхности стен, граничащих с холодным уличным воздухом.

Ключевые слова: расчёт потерь тепловой энергии помещений, стеклопакет, теплоизоляция зданий, вымерзание помещений, снижение потерь тепловой энергии в зданиях, утепление помещений.

UDC 699.86. The number of scientific specialty: 05.23.03.

Calculation of the cooling time of rooms in brick houses

O. B. Seldyugaev, PhD, junior researcher; L. A. Zinovyev, PhD, Head of the Laboratory; S. G. Karstina, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Physics and Nanotechnology Department, Karaganda Buketov University (The Republic of Kazakhstan, Karaganda city)

The paper presents calculations of the cooling rate of brick rooms in winter when the heating is turned off and their analysis. The analysis of the results showed that in the corner rooms of brick houses it is advisable to install triple double-glazed windows with a total thickness of at least 0.044 m and/or install plasterboard screens at a distance of 0.02 m from the brick walls over the entire surface of the walls bordering cold street air.

Key words: calculation of heat energy losses of premises, double-glazed windows, thermal insulation of buildings, freezing of premises, reduction of heat energy losses in buildings, insulation of premises.

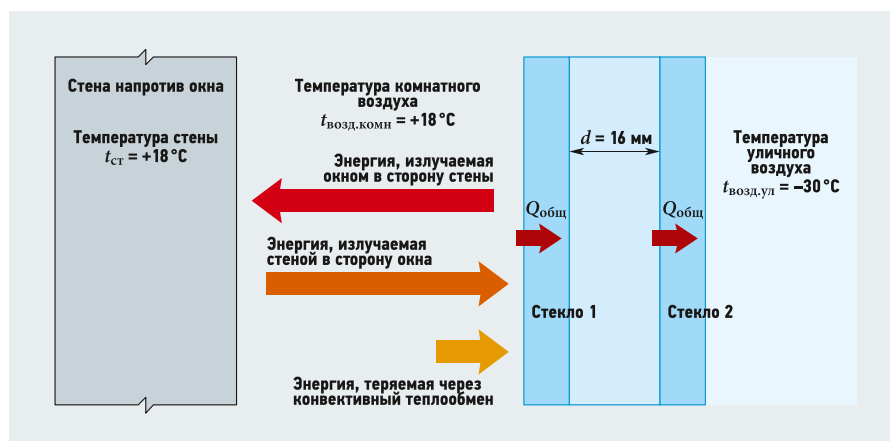


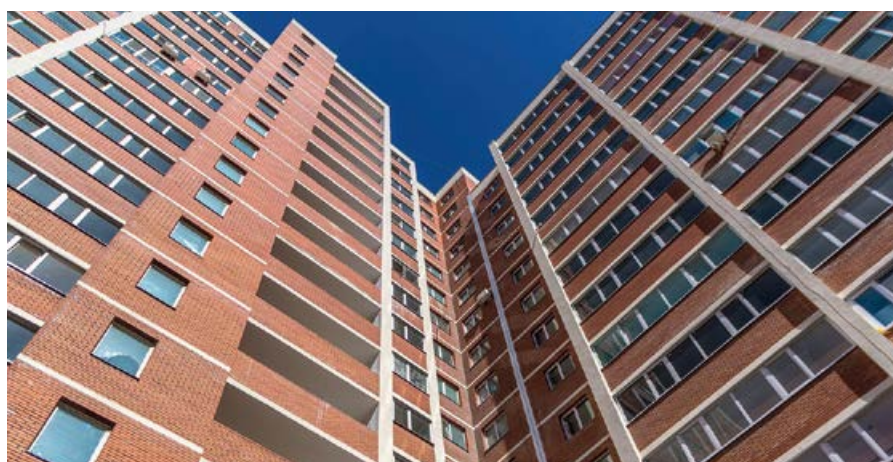
Рис. 1. Схема лучевого теплообмена между тёплыми стенами помещения и поверхностью двойного стеклопакета

Практическая реализация предлагаемой методики включает:

1. Расчёт потерь энергии $Q_{\text{конв}}$ за счёт конвективного теплообмена при контакте тёплого воздуха помещений с холодной поверхностью стен и стеклопакетов, граничащих с холодным уличным воздухом.
2. Расчёт количества энергии, излучаемой тёплыми стенами в сторону более холодных стен и окон (используется закон Стефана — Больцмана).
3. Расчёт количества энергии, излучаемой с поверхности холодных стен и стёкол окон в сторону тёплых стен. Разность между потоками энергии, излучаемыми на холодные поверхности, и потоками энергии, излучаемыми холодными поверхностями на тёплые стены, представляет собой тепловые потери помещения за счёт процессов лучевого теплообмена $Q_{\text{изл}}$. Общие потери энергии помещением вычислялись путём сложения потерь энергии через конвективный теплообмен с потерями энергии через лучевой теплообмен: $Q_{\text{общ}} = Q_{\text{конв}} + Q_{\text{изл}}$.

Схема описанной методики расчёта потерь тепловой энергии помещением через стандартный двойной стеклопакет представлена на рис. 1.

Используя предложенную методику, было рассчитано время понижения температуры от 18 до 0 °C в помещениях, имеющих однородную структуру стен. В качестве материала стен рассматривался монолитный красный кирпич (плотность 1900 кг/м³ [2], теплоёмкость 880 Дж/(кг·°C) [3]). В качестве исходных данных при проведении расчётов были выбраны: начальная температура помещений (внутренняя температура) в момент выключения отопления (+18 °C), температура уличного воздуха (–30 °C). Помещения, расположенные на первом или на последнем этажах зданий, в пред-



ложенной методике расчёта не рассматриваются. Хотя предлагаемая методика позволяет учитывать скорость ветра при проведении расчётов, представленные в работе результаты проводились при скорости ветра, равной 0 м/с.

Рассмотрим результаты расчёта по предлагаемой нами методике для четырёх типов зданий (тип I, II, III и IV). Все рассматриваемые типы зданий имеют кирпичные стены и бетонные перекрытия толщиной 0,22 м: здания I и II типов построены по нормам проектирования 1952 года, здания III и IV типов — по нормам проектирования 1958 года. Здания I и III типов имеют две несущие кирпичные стены — наружную толщиной 0,64 м (2,5 кирпича + прослойка раствора) и внутреннюю толщиной 0,38 м (полтора кирпича + прослойка раствора). Толщина межквартирных стен 0,25 м. Толщина наружной (холодной) боковой стены в угловой комнате в зданиях I и III типов — 0,64 м. В зданиях I и II типов высота потолка в квартирах 3,2 м [4], в зданиях III и IV типов — 2,5 м [5]. Ширина рассматриваемой жилой комнаты в зданиях I и II типов составляет 3,2 м; в зданиях III и IV типов ширина комнаты — 3 м. В комнатах, где отсутствует балкон, пло-

щадь окна в зданиях I и II типов одинаковая и составляет в помещениях в центре дома 2,85 м², в зданиях III и IV типов площадь окна в центральных помещениях равна 2,18 м² [6]. В угловых помещениях зданий любого типа находятся два окна: в зданиях I и II типов — общей площадью 5,7 м², в зданиях III и IV типов — 4,36 м² (одно в наружной несущей стене и одно в боковой стене, граничащей с холодным уличным воздухом).

Здания II и IV типов имеют толщину наружной кирпичной несущей стены 0,51 м (два кирпича + прослойка раствора) и внутреннюю несущую стену толщиной 0,38 м (полтора кирпича + прослойка

раствора). Толщина межквартирных стен составляет 0,25 м. Толщина наружной боковой (холодной) стены в угловой комнате в зданиях II и IV типов — 0,51 м.

При проведении расчётов предполагалось, что тепловая энергия в центральных помещениях любых типов кирпичных зданий запасается в боковых стенах помещений, в половой и потолочной бетонной плите, а также в задней несущей стене, находящейся напротив несущей стены, в которой расположены окна. В отличие от центральных помещений, в угловых помещениях зданий тепловая энергия запасается, помимо бетонных плит потолка и пола, в задней несущей стене и в одной боковой стене (эта тёплая стена граничит с соседним тёплым помещением, другая боковая стена граничит с холодным уличным воздухом и в нашей модели не является резервуаром тепловой энергии). Также в модели не учитывался запас тепловой энергии в передней несущей стене, граничащей с холодным уличным воздухом.

Расчёты проводились для помещений с окнами с двойными и тройными стеклопакетами, а также для помещений с дополнительным утеплением для центральных и угловых помещений.

Центральные помещения

Расчёт показал, что при замене стандартного двойного стеклопакета (однокамерный стеклопакет) с толщиной воздушного промежутка 0,016 м между стёклами на двойной стеклопакет с толщиной воздушного промежутка 0,02 м (общая толщина стеклопакетов равна 0,024 и 0,028 м) время вымерзания помещений в центре здания увеличивается: для зданий I типа — на 2,8 ч, II типа — на 2,2 ч, III типа — на 3,2 ч, для зданий IV типа — на 2,5 ч (табл. 1).

Также расчёты показали, что в помещениях, находящихся в центре вышеуказанных зданий, при замене стандартного двойного стеклопакета с воздушным промежутком между стёклами 0,016 мм на стандартный тройной стеклопакет (двухкамерный стеклопакет) с толщиной воздушного промежутка между стёклами 0,006 м (общая толщина стеклопакетов при этом равна 0,024 м) время вымерзания помещений увеличилось: для зданий I типа — на 3,4 ч, II типа — на 2,7 ч, III типа — на 4,0 ч, для зданий IV типа — на 3,1 ч (табл. 1).

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности замены в центральных помещениях кирпичных зданий двойных стандартных стеклопакетов общей толщиной 0,024 м и толщиной воздушного промежутка между стёклами 0,016 м на широко распространённые стандартные тройные стеклопакеты той же толщины. Тройные стеклопакеты общей толщиной 0,024 м более эффективно удерживают тепловую энергию в помещении по сравнению с двойными стеклопакетами, имеющими воздушный промежуток 0,02 м между стёклами (общая толщина стеклопакета — 0,028 м). Данный факт объясняется тем, что третье стекло возвращает часть тепловой энергии из второго стекла во внутреннее первое стекло тройного стеклопакета через процессы лучевого теплообмена. При этом влияние эффекта возврата тепловой энергии путём переизлучения от второго стекла к первому (внутреннему) стеклу в тройном стеклопакете общей толщиной 0,024 м превышает эффект от возрастания термического сопротивления при увеличении воздушного промежутка от 0,016 м до 0,02 м в двойном стеклопакете общей толщиной 0,028 м. Наибольший эффект от замены стандартных двойных стеклопакетов на стандартные тройные стеклопакеты наблюдается в зданиях III типа и составляет 4%. Это связано с большой толщиной наружных кирпичных стен и малой площадью поверхности наружной стены, граничащей с холодным уличным воздухом.

Время вымерзания центральных помещений для разных стеклопакетов, ч

табл. 1

Тип дома	$n = 2, d = 0,016 \text{ м}$	$n = 2, d = 0,02 \text{ м}$	$n = 3, d = 0,006 \text{ м}$	$n = 3, d = 0,016 \text{ м}$
Тип I	106,7	109,5	110,1	119
Тип II	94,2	96,4	96,9	103,7
Тип III	115,6	118,8	119,6	129,7
Тип IV	103,3	105,8	106,4	114,4

Время вымерзания угловых помещений для разных стеклопакетов, ч

табл. 2

Тип дома	Два окна, $n = 2, d = 0,016 \text{ м}$	Два окна, $n = 2, d = 0,02 \text{ м}$	Два окна, $n = 3, d = 0,006 \text{ м}$	Боковое окно заложено кирпичом, $n = 3, d = 0,006 \text{ м}$	Два окна, $n = 3, d = 0,016 \text{ м}$
Тип I	29,01	29,62	29,76	30,44	31,63
Тип II	25,7	26,16	26,27	26,54	27,71
Тип III	30,72	31,38	31,53	32,26	33,6
Тип IV	27,2	27,7	27,8	28,13	29,41

Кроме того, расчёты показали, что целесообразно установить в центральных помещениях кирпичных зданий мало применяемые тройные стеклопакеты общей толщиной 0,044 м (толщина воздушных промежутков 0,016 м между стёклами). При их использовании время вымерзания центральных помещений значительно возрастает даже по сравнению со стандартными тройными стеклопакетами общей толщиной 0,024 м [в зданиях I типа — на 9,0 ч, в зданиях III типа — на 10 ч (табл. 1)].

Можно сделать вывод о целесообразности замены в центральных помещениях кирпичных зданий двойных стандартных стеклопакетов общей толщиной 0,024 м и толщиной воздушного промежутка между стёклами 0,016 м на широко распространённые стандартные тройные стеклопакеты той же толщины. Тройные стеклопакеты общей толщиной 0,024 м более эффективно удерживают тепловую энергию в помещении

Угловые помещения

Для угловых помещений было выявлено очень незначительное (0,4–0,9 ч) увеличение времени вымерзания в зданиях рассматриваемых типов при замене стандартных двойных стеклопакетов с воздушным промежутком между стёклами 0,016 м на стандартные тройные стеклопакеты с толщиной воздушных промежутков 0,006 м (общая толщина обоих типов стеклопакетов — 0,024 м). Преимущество стандартных тройных стеклопакетов перед двойными стеклопакетами с толщиной воздушного промежутка 0,02 м составляет всего 0,2 ч (табл. 2).

Таким образом, можно сделать вывод о малой эффективности замены в угловых комнатах любых кирпичных зданий двойных стандартных стеклопакетов общей толщиной 0,024 м на широко распространённые стандартные тройные стеклопакеты той же толщины. Это связано с тем, что площадь окон в таких комнатах значительно меньше общей площади наружных холодных стен, через которые происходит основная потеря тепловой энергии (23,8 м² — площадь холодных стен в угловых комнатах зданий I и II типов; 18,4 м² — площадь холодных стен в угловых комнатах зданий III и IV типов; 5,7 и 4,36 м² — площадь окон в угловых комнатах зданий всех рассматриваемых типов).

Также было рассчитано время охлаждения угловых помещений с боковым окном, полностью по толщине заложено кирпичом. В этом случае в наружной несущей стене боковой комнаты остаётся одно окно ($n = 3, d = 0,006 \text{ м}$). Расчёты показали, что для всех типов зданий при полностью заложённом по толщине (0,5–0,64 м) боковом окне время вымерзания угловых помещений крайне незначительно возрастает по сравнению с угловыми помещениями с двумя окнами, в которых установлены стандартные тройные стеклопакеты ($n = 3, d = 0,006 \text{ м}$).

При замене во всех типах зданий стандартных двойных стеклопакетов ($n = 2, d = 0,016 \text{ м}$) в двух окнах на тройные стеклопакеты ($n = 3, d = 0,016 \text{ м}$) время вымерзания боковых комнат увеличится от 2,0 до 2,5 ч в зависимости от типа здания (табл. 2). Данная замена даёт больший эффект в сравнении с помещениями с полностью заложённым окном в боковой стене. Таким образом, можно сделать вывод о том, что более рациональным решением является установка тройного стеклопакета ($n = 3, d = 0,016 \text{ м}$), чем заделка оконного проёма кирпичом по всей толщине в боковой стене помещения.

Время вымерзания угловых утеплённых помещений*, ч

табл. 3

Тип дома	Неутеплённое помещение	Утеплена только боковая стена в один слой	Двойное утепление боковой стены	Утеплена две стены в один слой	Двойное утепление двух стен
Тип I	31,63	39,6	43,2	56	75,6
Тип II	27,71	35,5	38,8	52,9	73,1
Тип III	33,6	42,5	46,6	59,3	79,9
Тип IV	29,41	38,2	41,96	56	77,3

* Два окна, $n = 3$, $d = 0,016$ м, $L = 0,02$ м.

Утепление угловых помещений

Проведённые в работе расчёты показали, что тепловые характеристики угловых помещений кирпичных домов значительно уступают характеристикам центральных помещений. Угловые помещения, например, в домах I типа вымерзают более чем в три раза быстрее, чем центральные помещения (табл. 1 и 2). Это происходит из-за меньшего запаса тепла в угловом помещении (отсутствует запас тепловой энергии в боковой стене, граничащей с холодным уличным воздухом). Кроме того, в угловом помещении значительно больше площадь стен, граничащих с холодным уличным воздухом, что приводит к большим теплопотерям.

С целью выяснить, как влияет утепление стен на скорость вымораживания угловых помещений, были проведены расчёты скорости охлаждения утеплённых угловых помещений, имеющих два окна с установленными в них тройными стеклопакетами с толщиной воздушных промежутков по 0,016 м. Рассчитывались варианты охлаждения помещений, в которых были утеплены только боковые стены и помещений, в которых было проведено утепление как боковой стены, так и передней несущей стены. Утепление стен проводилось путём установки дополнительных экранов из гипсокартона на расстоянии $L = 0,02$ м от основной кирпичной стены. Расстояние 0,02 м было использовано исходя из результатов проведённых авторами экспериментов, которые показали, что при толщине воздушного промежутка 0,02 м между экраном и основной стеной потери тепловой энергии наименьшие из-за большого термического сопротивления воздушного промежутка. Если же увеличить толщину воздушного промежутка более 0,02 м, то начинается процесс конвекции, что ухудшает теплоизолирующие свойства воздушного промежутка. При этом влияние толщины гипсокартона на скорость вымерзания помещения не учитывалось, так как теплопроводность гипсокартона на порядок больше, чем теплопроводность воздушного промежутка между основной стеной и гипсокартоновым экраном. Результаты расчётов (табл. 3) пока-

зали, что утепление только боковых стен путём установки одного дополнительно экрана из гипсокартона увеличивает время вымерзания угловых помещений в зданиях I и III типов на 8,0 и 9,0 ч (на 25 и 27 %, соответственно). Таким образом, утепление даже одним слоем гипсокартона боковой холодной стены значительно улучшает тепловые характеристики углового помещения. При этом, однако, его характеристики остаются значительно хуже, чем у помещений, расположенных в центре дома.

Если произвести утепление боковой стены двумя слоями утеплителя, разделённых одинаковыми воздушными промежутками величиной 0,02 м, то время вымерзания угловых помещений увеличится, но менее значительно (на 9,0 и 9,7 %, соответственно).

В случае утепления как боковой, так и передней несущей стены углового помещения расчёты показали очень значительное увеличение времени вымерзания угловых помещений в случае одинарного утепления (на 76–77 % — в зданиях I и III типов и на 90–91 % — в зданиях II и IV типов по сравнению с неутеплёнными помещениями). То есть расчёты однозначно показывают, что значительно экономичнее производить утепление в один слой обеих холодных стен боковых помещений, чем утеплять только одну боковую стену даже несколькими слоями утеплителя.



Выводы

1. При проведении утеплительных работ в кирпичных зданиях в помещениях, находящихся в центре зданий, рекомендуется вместо двойных стандартных стеклопакетов общей толщиной 0,024 м устанавливать тройные стеклопакеты той же общей толщины с шириной воздушных промежутков между стёклами 0,006 м или тройные стеклопакеты общей толщиной 0,044 м с шириной воздушных промежутков между стёклами 0,016 м. Для центральных помещений кирпичных домов при увеличении толщины стены, граничащей с холодным уличным воздухом, на полкирпича (0,125 м) время вымерзания помещения увеличивается на 12–13 ч.
2. В угловых помещениях кирпичных домов замена стандартных двойных стеклопакетов общей толщиной 0,024 м на тройные стеклопакеты той же толщины незначительно повышает теплофизические характеристики помещения, что свидетельствует о нецелесообразности подобных замен. Это объясняется тем, что в данных угловых помещениях потери тепловой энергии через окна в несколько раз меньше потерь тепловой энергии через стены, граничащие с холодным уличным воздухом. Также расчёт показал, что установка тройных стеклопакетов общей толщиной 0,044 м в угловых помещениях более предпочтительна, чем закладка бокового окна кирпичом.
3. Утепление боковых помещений кирпичных домов целесообразно проводить путём установки дополнительных экранов (например, из гипсокартона) по всей площади стен, граничащих с холодным уличным воздухом. При этом толщина воздушного промежутка между экраном и кирпичной стеной равна 0,02 м.
4. Предложенная в работе методика может быть использована для расчёта времени охлаждения любых жилых зданий со стенами из однородного монолитного материала (кирпича или бетона).

1. Кудусов А.С., Сельдюгаев О.Б., Бурков М.А. Методика расчёта потерь тепловой энергии в двойном и тройном стеклопакетах // Вестник КарУ. Серия: «Физика», 2018. №3. С. 79–82.
2. ГОСТ 530–2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия / Дата введ. 01.07.2013.
3. СНиП 23-02. Расчётные теплотехнические показатели кирпичных кладок из сплошного кирпича. Теплоёмкость, теплопроводность и теплоусвоение в зависимости от плотности и влажности, паропроницаемость.
4. Строительные нормы и правила. Часть II. Нормы строительного проектирования. — М.: Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1954.
5. Строительные нормы и правила. Часть II. Раздел В. Глава 10. Жилые здания. — М.: Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1958.
6. ГОСТ 11214–2003. Блоки оконные деревянные с листовым остеклением. Технические условия / Дата введ. 01.03.2004.

References — see page 79.

Calculation of the cooling time of rooms in brick houses. Pp. 64–67.

Oleg B. Seldyugaev, PhD, junior researcher; **Leonid A. Zinovyev**, PhD, Head of the Laboratory; **Svetlana G. Karstina**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Physics and Nanotechnology Department, [Karaganda Buketov University](#) (The Republic of Kazakhstan, Karaganda city)

1. A.S. Kudusov, O.B. Sel'dyugaev, M.A. Burkov. *Metodika rascheta poter' teplovoj jenergii v dvojnomy i trojnomy steklopaketah* [Method of calculation of thermal loss energy in double and triple glass packaging]. *Vestnik KarU: serija "Fizika"* [Bulletin of Karaganda University. Series: Physics]. 2018. No. 3. Pp. 79–82. [In Russian]
2. GOST 530–2012 [State Industry Standard of Russia No. 530–2012]. *Kirpich i kamen' keramicheskie. Obshhie tehicheskie uslovija* [Brick and ceramic stone. General specifications]. Data of init.: July 1, 2013. [In Russian]
3. SNiP 23-02 [Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 23-02]. *Raschetnye teplotnicheskie pokazateli kirpichnykh kladok iz sploshnogo kirpicha. Teploemkost', teploprovodnost' i teplousvoenie v zavisimosti ot plotnosti i vlazhnosti, paropronicaemost'* [Estimated thermal performance of solid brick masonry. Heat capacity, thermal conductivity and heat absorption depending on density and humidity, vapor permeability]. [In Russian]
4. *Stroitel'nye normy i pravila* [Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of the USSR)]. *Chast' II. Normy stroitel'nogo proektirovaniya* [Part II. Building design standards]. Moscow. Gos. izd-vo lit. po stroitel'stvu i arhitekture [State Publishing House of Literature on Construction and Architecture]. 1954. [In Russian]
5. *Stroitel'nye normy i pravila* [Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of USSR)]. *Chast' II. Razdel V. Glava 10. Zhilye zdaniya* [Part II. Section B. Chapter 10. Residential buildings]. Moscow. Gos. izd-vo lit. po stroitel'stvu i arhitekture [State Publishing House of Literature on Construction and Architecture]. 1958. [In Russian]
6. GOST 11214–2003 [State Industry Standard of Russia No. 11214–2003]. *Bloki okomnye derevjannye s listovym ostekleniem. Tehicheskie uslovija* [Wooden window blocks with sheet glazing. Specifications]. Data of init.: Mart 1, 2004. [In Russian]