

Summary:

Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций зданий. Ч. 2. Российские принципы нормирования

Heat Engineering Characteristics of Building Envelopes. Part 2. Russian Rating Principles

A.S. Gorshkov, Candidate of Engineering, Director of Educational and Scientific Center "Monitoring and Rehabilitation of Natural Systems" FGAOU VO "Saint Petersburg Polytechnic University of Peter the Great"

Keywords: *buildings, design, thermal insulation, thermal protection, regulatory requirements, calculation methods, energy conservation, energy efficiency*

Having described the methods of calculation and principles of rating of thermo-technical characteristics of building envelope in European countries using Finland as an example (see article in "Energy Conservation" magazine No. 7, 2017), we will move on to their evaluation in Russia. Also we will show difference between methods used in the Russian Federation and European Union countries.

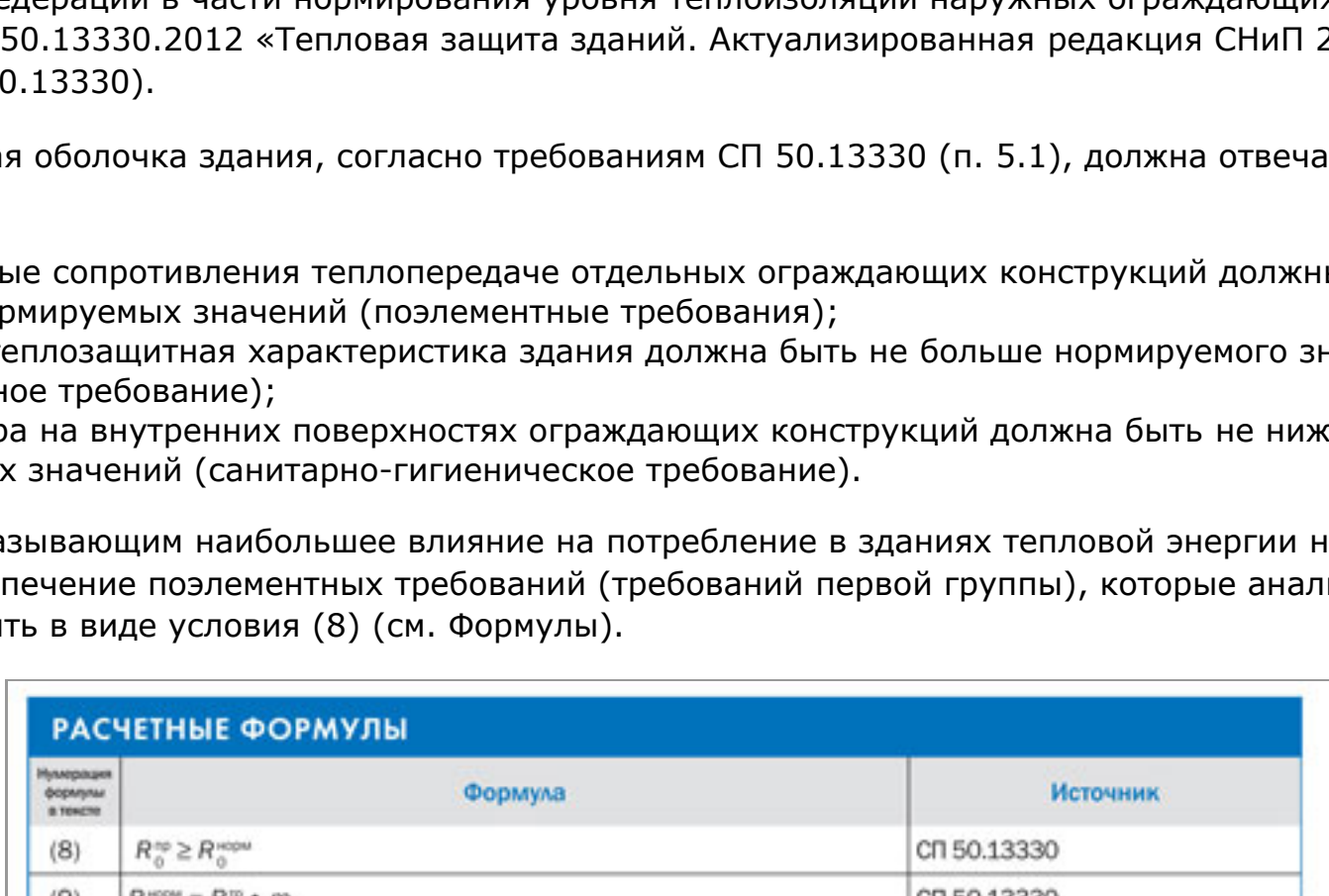
Описание:

Описав методы расчета и принципы нормирования теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций зданий в европейских странах на примере Финляндии (см. статью в журнале «Энергосбережение» № 7, 2017), перейдем к оценке таковых в России. Также покажем различие методов, принятых в Российской Федерации и странах Европейского союза.

Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций зданий. Ч. 2. Российские принципы нормирования

А. С. Горшков, канд. техн. наук, директор учебно-научного центра «Мониторинг и реабилитация природных систем» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Описав¹ методы расчета и принципы нормирования теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций зданий в европейских странах на примере Финляндии, перейдем к оценке таковых в России. Также покажем различие методов, принятых в Российской Федерации и странах Европейского союза.



Российской Федерации в части нормирования уровня теплоизоляции наружных ограждающих конструкций действует СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003» (далее – СП 50.13330).

Теплозащитная оболочка здания, согласно требованиям СП 50.13330 (п. 5.1), должна отвечать следующим требованиям:

- приведенные сопротивления теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должны быть не меньше нормируемых значений (позлементные требования);
- удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование);
- температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование).

Фактором, оказывающим наибольшее влияние на изменение в зданиях тепловой энергии на отопление, является обеспечениеazoleнтных требований (требований первой группы), которые аналитически можно выразить в виде условия (8) (см. Формулы).

Номер формулы	Формула	Источник
(8)	$R_{тв}^{пр} \geq R_{тв}^{ном}$	СП 50.13330
(9)	$R_{тв}^{пр} = R_{тв}^{пр} \cdot \eta_p$	СП 50.13330
(10)	$R_{тв}^{пр} = \frac{1}{\frac{1}{R_{тв}^{пр}} \cdot \sum (\psi_j \cdot \sum \eta_{j, X} + \sum \alpha_j \cdot U_{тв} + \sum (\psi_k \cdot \sum \eta_{k, X})}$	СП 50.13330 (Приложение Е, формула Е.1)

Обозначения в формулах

$R_{тв}^{пр}$ – значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции
 $R_{тв}^{ном}$ – нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции
 $R_{тв}^{пр}$ – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, которое следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода (ГСОП) региона строительства и определять по табл. 3 СП 50.13330
 η_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства
 $R_{тв}^{пр}$ – усредненное по площади условное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания либо выделенной ограждающей конструкции, м²·°C/Вт
 l – протяженность линейной неоднородности j -го вида, приходящаяся на 1 м² фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, м/м²
 $U_{тв}$ – удельные потери теплоты через линейную неоднородность j -го вида, Вт/(м²·°C)
 n_k – количество точечных неоднородностей k -го вида, приходящихся на 1 м² фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, шт/м²
 X_j – удельные потери теплоты через точечную неоднородность k -го вида, Вт/°C
 α_j – площадь плоского элемента конструкции i -го вида, приходящаяся на 1 м² фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, м²/м²

При этом нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции следует определять по формуле (9), где коэффициент η_p , учитывающий особенности региона строительства, принимается равным 1. При этом допускается снижение значения коэффициента η_p в случае, если выполняется расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентилирования здания. Значения коэффициента η_p при этом должны быть не менее:

- 0,63 для стен;
- 0,95 для светопрозрачных конструкций;
- 0,80 для остальных ограждающих конструкций.

По сути, с введением коэффициента η_p копируется принцип нормирования, заложенный в СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий».

Изменение в России требований к уровню тепловой защиты зданий

В табл. 3 СП 50.13330 приводятся базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Табл. 3 полностью копирует требования, отраженные в табл. 4 СНиП 23-02–2003. Несмотря на практически полную идентичность табл. 4 СНиП 23-02–2003 и табл. 3 СП 50.13330, нормируемые требования к уровню тепловой защиты в СП 50.13330 оказались ниже аналогичных требований СНиП 23-02–2003.

Различие обусловлено тем, что вместе с актуализацией СНиП 23-02–2003 был актуализирован и СНиП 23-01–99* «Строительная климатология». В СНиП 23-02–2003 при определении климатических параметров отопительного периода последние принимаются по СНиП 23-01–99*, в СП 50.13330 – по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01–99*» (далее – СП 131.13330).

Согласно СП 131.13330, средняя температура наружного воздуха за отопительный период для жилых зданий повысилась до $-2,2$ °C (в СНиП 23-01–99* указано значение $-3,1$ °C), а продолжительность отопительного периода сократилась до 205 сут. (в СНиП 23-01–99* она принималась равной 214 сут.). Неизменной в формуле расчета градусо-суток отопительного периода (ГСОП) осталась лишь принимаемая для жилых зданий температура внутреннего воздуха, которая как была², так и осталась равной 20 °C.

В результате изменений расчетных климатических параметров изменилось расчетное значение ГСОП для жилых зданий, проектируемых в Москве, которое до введения СП 50.13330 принималось равным 4 943 °C•сут. (СНиП 23-01–99*), а с 1 июня 2015 года согласно СП 131.13330 принимается равным 4 551 °C•сут.

Ввиду изменения ГСОП изменились и нормативные требования к уровню нормируемого сопротивления теплопередаче (табл. 4). Как следует из табл. 4, современные нормативные требования к уровню тепловой защиты оказались незначительно, но ниже требований 2003 года (т. е. СНиП 23-02–2003) и 1995 года (табл. 1 в СНиП II 3–79* «Строительная теплотехника»).

Таблица 4

Требуемые для климатических условий города Москвы значения приведенного сопротивления теплопередаче согласно СНиП 23-02–2003 и СП 50.13330

Тип наружной ограждающей конструкции	Требуемые значения приведенного сопротивления теплопередаче $R_{тв}^{пр}$, м ² ·°C/Вт, рассчитанные по стандартам:	
	СНиП 23-02–2003* $R_{тв}^{спнп}$	СП 50.13330** $R_{тв}^{сп}$
Наружные стены	3,13	2,99
Окна и балконные двери	0,52	0,49
Входные наружные двери	0,83	0,78
Совмещенное покрытие	4,67	4,48
Перекрытия над проездами и под эркерами	4,67	4,48
Перекрытия над неотапливаемым подвалом (подпольем)	4,12	3,95

* Требуемые значения сопротивлений теплопередаче рассчитаны по ГСОП согласно данным СНиП 23-01-99*.
**Требуемые значения сопротивлений теплопередаче приняты по ГСОП согласно данным СП 131.13330.

Нормативные требования к уровню тепловой защиты основных типов ограждающих конструкций, рассчитанные по формуле (9) с учетом понижающего коэффициента η_p для климатических условий Москвы, представлены в табл. 5.

Таблица 5

Значения приведенного сопротивления теплопередаче, требуемые для климатических условий Москвы, согласно СНиП 23-02–2003 и СП 50.13330

Тип наружной ограждающей конструкции	Требуемые значения приведенного сопротивления теплопередаче $R_{тв}^{пр}$, м ² ·°C/Вт, рассчитанные по стандартам:	
	СНиП 23-02–2003 $R_{тв}^{спнп}$	СП 50.13330 $R_{тв}^{сп}$
Наружные стены	1,97	1,88
Окна и балконные двери	0,49	0,47
Входные наружные двери	0,83	0,78
Совмещенное покрытие	3,74	3,58
Перекрытия над неотапливаемым подвалом (подпольем)	3,30	3,16

Сравнение требований к уровню теплоизоляции в Финляндии и Москве

Безусловно, в связи с тем, что расчетное значение приведенного сопротивления теплопередаче должно быть равно или выше нормируемого значения, небольшое снижение нормируемых показателей не должно оказать существенного влияния на выбор толщины теплоизоляционного слоя в составе наружных ограждающих конструкций. Однако если сравнить тренд изменения нормативных требований к уровню теплоизоляции ограждающих конструкций зданий, принятый в Финляндии³ и России (на примере Москвы), сравнение оказывается не в пользу последней.

Сравнительный анализ минимально допустимых нормативных требований к уровню теплоизоляции ограждающих конструкций зданий, проектируемых на территории Финляндии и Москвы, представлен в табл. 6, из которой очевидно, что различия в уровне теплоизоляции ограждающих конструкций, принятые в Финляндии и России, существенны.

Таблица 6

Нормативные требования к ограждающим конструкциям по нормам Финляндии и России (применительно к климатическим условиям Москвы)

Тип наружной ограждающей конструкции	Нормативные требования к ограждающим конструкциям, м ² ·°C/Вт	
	Для Финляндии*	Для Москвы (СП 50.13330)
Наружные стены	5,88	1,88
Окна и балконные двери	1,0	0,47
Входные наружные двери	1,0	0,78
Совмещенное покрытие	11,1	3,58
Перекрытие над неотапливаемым подвалом (подпольем)	6,25	3,16

*Согласно требованиям National Building Code of Finland, Part D3. Значения требуемых сопротивлений теплопередаче для условий Финляндии рассчитаны на основании данных таблицы 2 (из п.4.1) по формуле $U = 1/R_{тв}$

Трансмиссионные затраты тепловой энергии

В работах [1, 2] выполнено сравнение трансмиссионных затрат тепловой энергии через оболочку жилого многоквартирного здания при нормировании уровня теплоизоляции ограждающих конструкций по стандартам Финляндии и России. Показано, что трансмиссионные потери тепловой энергии в здании, проектируемом по нормам России, окажутся приблизительно в 2 раза выше по сравнению с потерями в том же здании, проектируемом по нормам Финляндии. И это при соблюдении одних и тех же требований к параметрам микроклимата внутреннего воздуха, при одинаковых площадях здания, его форме, ориентации фасадов по сторонам света, расчетном количестве теплоты, величине бытовых и солнечных теплопотерь, составе инженерного оборудования, кратности воздухообмена помещений.

Различия в методических подходах России и Финляндии

Следует, однако, иметь в виду различия в методическом подходе при расчете сопротивления теплопередаче по стандартам Финляндии и России. В России формируется так называемое приведенное сопротивление теплопередаче, которое рассчитывается по формуле (10). Данная формула учитывает потери не только по площади ограждающей конструкции, но также через линейные и точечные неоднородности, имеющие место в ее составе. С позиции подхода, принятого в СП 50.13330, в Финляндии нормируется условное сопротивление теплопередаче. Поэтому сравнятся две эти величины (условное и приведенное сопротивление теплопередаче) в общем случае некоорректно. Приведенное сопротивление теплопередаче зависит не только от толщины слоя теплоизоляции, но и от теплопроводных включений (их состава, свойств, количества, протяженности).

Однако при обязательном учете параметров коррекции при расчете коэффициента теплопередачи по ISO 6946⁴ его расчетное значение нельзя в полной мере считать условным. Кроме того, если сравнить формулы (6)⁵ и (10), то, по сути, приведенное сопротивление теплопередаче является величиной, обратной трансмиссионному коэффициенту теплопередачи здания H_d , рассчитываемому на основании стандарта ISO 13789⁶.

Главное отличие российского и европейского подходов состоит в том, что по нормам ЕС толщина слоя теплоизоляции подбирается на основании простых аналитических выражений, а трансмиссионные потери рассчитываются с учетом теплопроводных включений, т. е. требуемая толщина слоя теплоизоляции не зависит от состава и свойств теплопроводных включений. В российском подходе нормируется приведенное сопротивление теплопередаче, которое одновременно учитывает и толщину слоя теплоизоляции, и влияние теплопроводных включений.

Минимальная толщина слоя минераловатной теплоизоляции в наружных стенах зданий, проектируемых в Финляндии, составляет 250 мм, а чаще доходит до 350 мм. В Москве толщина слоя теплоизоляции из минеральной ваты 200 мм является максимальной, а чаще всего не превышает 150 мм. Это к вопросу о том, какой подход к нормированию является более корректным с точки зрения минимизации потерь тепловой энергии через ограждающие конструкции. Трансмиссионные потери тепловой энергии через ограждающие конструкции при одном и том же конструктивном решении наружных ограждений, но при большей толщине слоя теплоизоляции окажутся однозначно меньше.

Теплопроводные включения оказывают существенное влияние на потери тепловой энергии через оболочку здания. Их неполный учет может привести к различию расчетных и фактических потерь тепловой энергии через оболочку здания и, как следствие, скажется на расхождении фактических и расчетных значений удельного энергопотребления введенного в эксплуатацию нового здания.

В работе [3] показано, что расчетный коэффициент теплопроводности g слоев (толщины g наружной ограждающей конструкции, выполненной кладкой из газобетонных блоков (толщиной 75 мм) с облицовочным каменным слоем из глиняного кирпича (120 мм), составляет 0,61. Соответственно, при условном сопротивлении теплопередаче такой стены $2,99 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, приведенное сопротивление теплопередаче рассматриваемой конструкции наружной стены составит $0,61 \times 2,99 = 1,81 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. В работе [4] для аналогичного конструктивного решения получено еще более низкое расчетное значение коэффициента теплопроводности g равно 0,48. В результате использования при строительстве блоков со сколами и выбоинами и некачественного выполнения строительного-монтажных работ по возведению ограждающих конструкций, коэффициент теплопроводности может оказаться еще ниже расчетного (проектного). В работах [5–7] показано, что область применения наружных стен, выполненных кладкой из газобетонных блоков без дополнительного утепления теплоизоляционными изделиями, санкт-Петербурга ГСОП = 4 200 град•сут. При этом такие стены продолжают возводиться не только в Москве и Санкт-Петербурге (с ГСОП около 4 500 °C•сут), но и в более холодных районах Российской Федерации.

Как уже было показано, в СП 50.133330 приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций рассчитывается по формуле (10), которая учитывает не только потери тепловой энергии по площади наружных стен ($\sum \alpha_i U_i$), но также через линейные ($\sum \psi_j$) и точечные ($\sum \eta_k X_k$) неоднородности. По сравнению с СНиП 23-02–2003 в СП 50.133330 методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче является более качественной, но неполной: отсутствует требование к выбору расчетных участков (фрагментов) ограждающих конструкций, граничных условий, трактовке результатов расчета, программному обеспечению.

Ввиду этого пример расчета приведенного сопротивления теплопередаче фасада жилого здания, представленных в СП 50.133330 (Приложение Н) не может быть полностью проанализирован. Температурные поля рассматриваемых в СП 50.133330 (Приложение Н) узлов конструкции фасада неоднозначно трактуемы и не показаны. Для несветоопзрачных ограждающих конструкций пример расчета представлен только для фасада и только одного вида (стена с теплоизоляционной фасадной системой с тонким штукатурным слоем).

В дополнение к СП 50.13330 были разработаны для добровольного применения СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающих зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей (далее – СП 230.1325800)», которые содержат значительно больше узлов и конструктивных решений. Однако, многие конструктивные поля и узлы в СП 230.1325800 также отсутствуют. Например, в нас нет таблицы расчетных значений удельных потерь теплоты через неоднородности в составе кровельных конструкций и чердачных перекрытий. Оболочка зданий не ограничивается наружными стенами. Постоянное совершенствование технических решений и применением строительных материалов при отсутствии проработанных узлов ограничивает их область применения или замедляет их использование в строительстве. По этой причине включение новых технических решений и узлов строительных конструкций делает процесс совершенствования нормативной базы по данному вопросу бесконечным.

Недостаточная проработка технических решений и неполный учет влияния потерь тепла через теплопроводные включения (неоднородности в составе ограждающих конструкций), могут приводить к несоответствию расчетных (неоднородности) и фактических значений сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций. А следовательно, к расхождению расчетных (проектных) и фактических значений удельного энергопотребления зданий, т.к. в распределении потерь тепловой энергии на отопление трансмиссионные потери тепла через оболочку здания составляют более 50 %.

Анализ сравнения европейского и российского подходов

Методический подход к нормированию и проектированию наружной оболочки зданий, принятый в стандартах стран Европейского союза, представляется более целостным и правильным.

Нормативные требования к уровню теплоизоляции наружных ограждающих конструкций в европейских странах, сопоставимых по климату с Москвой, оказываются существенно выше. Однако сравнение их напрямую некорректно, поскольку:

- в странах ЕС нормируется коэффициент теплопередачи, численное значение которого учитывает некоторые параметры коррекции, но рассчитывается в основном без учета их влияния;
- в России нормируется так называемое приведенное сопротивление теплопередаче, численное значение которого зависит не только от толщины слоя теплоизоляции, но и от состава теплопроводных включений.

По нормам ЕС толщина слоя теплоизоляции подбирается на основании простых аналитических выражений, а трансмиссионные потери рассчитываются с учетом теплопроводных включений, т. е. требуемая толщина слоя теплоизоляции не зависит от состава и свойств теплопроводных включений. В российском подходе нормируется приведенное сопротивление теплопередаче, которое одновременно учитывает и толщину слоя теплоизоляции, и влияние теплопроводных включений.

Различие подходов приводит к тому, что в зданиях, проектируемых в Финляндии, толщина слоя теплоизоляции (например, минераловатной) в составе ограждающих конструкций оказывается примерно в 2 раза больше, чем в России, при сопоставимых климатологических условиях проектирования и эксплуатации зданий. Большое влияние на соответствие зданий требованиям по тепловой защите оказывают теплопроводные включения в составе ограждающих конструкций. Неполный учет теплопроводных включений и потерь тепловой энергии через них может привести к различию расчетных и фактических потерь тепловой энергии через оболочку здания и, как следствие, скажется на расхождении фактических и расчетных значений удельного энергопотребления введенного в эксплуатацию нового здания.

Методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче, изложенная в СП 50.133330, проработана недостаточно корректно и точно.

В своде правил СП 230.1325800 приведены далеко не все конструктивные узлы и варианты теплопроводных включений. В частности, отсутствуют таблицы расчетных значений удельных потерь теплоты через кровельные вентиляруемые фасады, – одного из наиболее распространенных типов фасадов, проектируемых и применяемых при строительстве зданий на территории Российской Федерации. Со всем не рассмотрены таблицы расчетных значений удельных потерь теплоты через неоднородности в составе кровельных конструкций и чердачных перекрытий. Оболочка зданий не ограничивается наружными стенами. Постоянное совершенствование технических решений и применением строительных материалов при отсутствии проработанных узлов ограничивает их область применения или замедляет их использование в строительстве.

Литература

1. Горшков А. С., Рымкевич П. П., Немова Д. В. Экономим или нет? Российские энергосберегающие требования // Энергосбережение. 2014. № 2.
2. Ватин Н. И., Немова Д. В., Рымкевич П. П., Горшков А. С. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8.

¹ См. статью «Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций зданий. Ч. 1. Европейский подход и метод расчета» в журнале «Энергосбережение» № 7, 2017.

² Согласно ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

³ Сравните данные табл. 2 в первой части статьи (журнал «Энергосбережение», № 7) и данные табл. 4 и 5 настоящей статьи.

⁴ ISO 6946 Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method.

⁵ $H_d = \sum \alpha_i U_i + \sum \psi_j X_j + \sum \eta_k X_k$ (см. первую часть статьи в журнале «Энергосбережение», № 7).

⁶ ISO 13789 Thermal performance of buildings – Transmission and ventilation heat transfer coefficients – Calculation method.