

Известия вузов. Строительство. 2022. № 4. С. 67–74.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (4): 67–74.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 699.86:69(083.75)

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-760-4-67-74

ПРОБЛЕМЫ НАЗНАЧЕНИЯ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ПРИВЕДЕННОМУ СОПРОТИВЛЕНИЮ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Владимир Владимирович Козлов¹, Ленар Радикович Тимирханов²

¹Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, Москва, Россия

²Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Аннотация. В статье разобраны проблемы назначения нормативных требований к приведенному сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций. Показана актуальность этого вопроса. Описаны сложности назначения требований для разнообразных неоднородных ограждающих конструкций. Рассмотрена возможность применения методики нахождения оптимального уровня утепления конструкции к назначению требований. Установлено, что зависимость базовых значений требуемого сопротивления теплопередаче от градусосуток отопительного периода в действующей редакции СП 50.13330.2012 не совпадает с оптимальной. Прямолинейное применение методики нахождения оптимального уровня утепления приведет к зависимости требований от выбранного конструктивного решения и применяемого материала утеплителя, по сути, к дроблению требований, что абсолютно некорректно и недопустимо. Проиллюстрирована на отдельном примере актуальность вопроса точности предъявления требований.

Ключевые слова: требуемое сопротивление теплопередаче, тепловая защита, энергоэффективность, энергосберегающие мероприятия, приведенное сопротивление теплопередаче

Для цитирования: Козлов В.В., Тимирханов Л.Р. Проблемы назначения нормативных требований к приведенному сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций // Известия вузов. Строительство. 2022. № 4. С. 67–74. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-760-4-67-74.

Original article

PROBLEMS OF ASSIGNING REGULATORY REQUIREMENTS TO THE REDUCED HEAT TRANSFER RESISTANCE OF ENCLOSING STRUCTURES

Vladimir V. Kozlov¹, Lenar R. Timerkhanov²

¹Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia

²Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

Abstract. The article examines the problems of assigning regulatory requirements to the reduced heat transfer resistance of enclosing structures. The relevance of this issue at the present time is shown. The difficulties of assigning requirements for a variety of heterogeneous enclosing structures are described. The possibility of applying the methodology of finding the optimal level of insulation of the structure to the purpose of the requirements is considered. It is shown that the dependence of the basic values of the required heat transfer resistance on the degree-day of the heating period in the current version of SP 50.13330.2012 does not coincide with the optimal one. It is also shown that the straightforward application of the methodology for finding the optimal level of insulation leads to the dependence of requirements on the chosen design solution and the insulation material used, in fact, to the fragmentation of requirements, which is absolutely incorrect and unacceptable. The relevance of the issue of the accuracy of the presentation of requirements is illustrated by a separate example.

Keywords: required heat transfer resistance, thermal protection, energy efficiency, energy-saving measures, reduced heat transfer resistance

For citation: Kozlov V.V., Timerkhanov L.R. Problems of assigning regulatory requirements to the reduced heat transfer resistance of enclosing structures. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (4): 67–74. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-760-4-67-74.

Введение. Существует два вида нормативных требований, содержащихся в стандартах и сводах правил: технические, влияющие только на предмет нормирования, и стратегические, оказывающие влияние на весь строительный комплекс. К стратегическим относятся требования к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий (в том числе назначение класса энергоэффективности) и к приведенному сопротивлению теплопередаче ($R_{o}^{пр}$, $m^2 \cdot ^\circ C/Wt$) отдельных ограждающих конструкций. Они содержатся в СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02–2003. Тепловая защита зданий». Эти важнейшие с точки зрения тепловой защиты понятия косвенно регулируют толщину утеплителя, применяемые конструктивные решения и специальные энергосберегающие мероприятия.

При изменении требований в небольших пределах чаще всего результат имеет чисто технический характер. В случае превышения изменениями некоторого порога требования оказываются невыполнимыми или наоборот бессмысленными в рамках старой системы производства конструкций. Такие изменения имеют негативный эффект: вместо регулирования энергосбережения регулируют устройство самого строительного комплекса, доли рынка тех или иных утеплителей и конструктивных систем, а также могут влиять на открытие новых и закрытие действующих производственных предприятий.

В 1995–2000 гг. требования к приведенному сопротивлению теплопередаче уже претерпели изменения, в ходе которых требуемая величина возросла по сравнению с прежними нормативами в среднем в 3 раза. В результате была свернута советская промышленность по производству керамзита и других крупнопористых заполнителей, керамзитобетона, однослойных панелей из легкого бетона. Закрылось подавляющее большинство промышленных предприятий, некоторые переоборудовали производство под иные конструкции. На закрытие предприятий повлияли и другие причины, но изменение требований сыграло немаловажную, а иногда и решающую роль. Все это

препятствовало ритмичному выполнению планов по строительству и стабильности строительного рынка.

Если прежние нормативные требования исходили из минимально необходимого уровня утепления ограждающих конструкций, позволяющего поддерживать в помещениях относительно комфортные условия, то новые нормативные требования, как было заявлено, вводились из условий энергосбережения, имея под собой экономические основания. Эти изменения весьма неоднозначно оценивались научным сообществом еще в момент их введения. Споры об их корректности ведутся до сих пор, а обоснования необходимости скачкообразного повышения требований по энергосбережению в стране с традиционным избытком энергии так и не предъявлено. При этом, независимо от того какова природа требований, опираются они на физические, экономические или организационные принципы, очевидно, за ними должна быть научная основа.

За прошедшее время строительная промышленность полностью перестроилась и ориентирована на выполнение требований при изменившихся экономических условиях. Вероятно, многие энергосберегающие решения и уровни утепления ограждающих конструкций стали ближе к оптимальным. Однако вопрос обоснования требований так и остается нерешенным, и в первую очередь не хватает методики проверки действующих требований и выработки новых, при необходимости.

Экономическая и производственная ситуация как в стране, так и в мире, стремительно меняется, иногда даже разнонаправлено. Таким образом, вопрос пересмотра, обновления нормативных требований является крайне актуальным. Сегодня есть необходимость разработки методики назначения новых требований к приведенному сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций.

Так как нормирование приведенного сопротивления теплопередаче ориентируется на энергоэффективность здания, логично разрабатывать методику, опирающуюся на экономические критерии оптимальности утепления ограждающих конструкций. Исследований по обоснованию оптимальности уровня утепления довольно много. В основном все они построены по одному принципу, но при этом получают значительно различающиеся, иногда даже противоположные результаты. Поэтому наибольший интерес представляют методические работы, например, статьи [1–5]. Чаще нормирование энергосбережения и приведенного сопротивления теплопередаче обсуждается без привлечения экономических методов, а значит без реальной энергоэффективности. Примером таких исследований могут послужить работы [6–9]. В зарубежной литературе также затрагиваются вопросы оптимизации ограждающих конструкций, но намного реже, чем в России и по большей части в рамках частных вопросов, из-за чего получающиеся результаты мало применимы в наших нормативных условиях [10, 11].

Для определения оптимального уровня утепления или максимума эффективности зачастую записывают функцию приведенных затрат. Встречаются разные записи этой функции. Для настоящей работы представляется наиболее подходящей запись, приведенная в пункте 5.10.2 СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты».

В соответствии с СП 345.1325800.2017 удельные приведенные затраты на строительство и эксплуатацию конструкции, Π , руб./($\text{м}^2 \cdot \text{год}$), определяются по формуле

$$\Pi = \frac{K_{\text{кон}}^{\text{ед}}}{Z_{\text{ок}}} + 0,024 \frac{\text{ГСОП}}{R_0^{\text{пр}}} \left(C_{\text{тепл}} + \frac{C_{\text{от}}}{Z_{\text{ок}}} \right), \quad (1)$$

где $K_{\text{кон}}^{\text{ед}}$ – полные единовременные затраты на производство 1 м^2 конструкции, руб./ м^2 ;

$C_{\text{от}}$ – удельная цена отопительного оборудования и подключения к тепловой сети в районе строительства проектируемого здания, руб./($\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{год}$);

$C_{\text{тепл}}$ – тарифная цена тепловой энергии в районе строительства проектируемого здания, руб./($\text{кВт} \cdot \text{ч}$);

$Z_{\text{ок}}$ – срок окупаемости, определяемый как половина срока службы элемента до замены или ремонта, но не более 12 лет.

Анализ нормативной методики оценки тепловой защиты зданий.

Как показано в [1], оценка эффективности тепловой защиты конструкции может быть разделена и проведена поэлементно, т.е. можно отдельно исследовать все влияющие на теплопередачу детали конструкции, в том числе и условно однородную конструкцию, для которой влияющим на теплопередачу фактором окажется толщина утеплителя.

Для этого нужно записать часть удельных приведенных затрат на строительство и эксплуатацию условно однородной конструкции, Π_0 , руб./($\text{м}^2 \cdot \text{год}$)

$$\Pi_0 = \frac{K_0^{\text{ед}} + C_{\text{ут}} d_{\text{ут}}}{Z_{\text{ок}}} + 0,024 \frac{\text{ГСОП}}{R_{\text{ост}} + \frac{d_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}}} \left(C_{\text{тепл}} + \frac{C_{\text{от}}}{Z_{\text{ок}}} \right), \quad (2)$$

где $R_{\text{ост}}$ – термическое сопротивление слоев конструкции помимо слоя утеплителя плюс сопротивления теплообмену на границах конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Классическое исследование заключается в поиске минимума удельных приведенных затрат. Для этого чаще всего берется производная функции приведенных затрат по ключевому параметру, например, толщине утеплителя. Есть исследования (например, [2]), в которых резонно указывается на разрывность реальной функции приведенных затрат, а значит невозможность корректно вычислить производную. Для исследуемой задачи вопрос разрывности функции не критичен и далее будет взята производная функции приведенных затрат. При этом нужно понимать, что на реальных конструкциях никто не будет принимать дробные значения толщин утеплителя, и при практическом применении результат необходимо округлять до целых значений в сантиметрах.

Продифференцировав функцию приведенных затрат по толщине утеплителя и приравняв производную к нулю, получают координату минимума функции или оптимальную толщину утеплителя, реализующую в данном случае минимум приведенных затрат

$$(R_{\text{ост}} \lambda_{\text{ут}} + d_{\text{опт}})^2 = \frac{0,024 \text{ГСОП} \lambda_{\text{ут}} (C_{\text{тепл}} Z_{\text{ок}} + C_{\text{от}})}{C_{\text{ут}}}. \quad (3)$$

Удобнее перейти к оптимальному условному сопротивлению теплопередаче конструкции по глади, так как по сути именно оно записано в скобках в левой части формулы (3)

$$R_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{0,024\text{ГСОП}(C_{\text{тепл}}Z_{\text{ок}} + C_{\text{от}})}{C_{\text{ут}}\lambda_{\text{ут}}}}. \quad (4)$$

Из формулы (4), которая в том или ином виде получена многими исследователями, можно сделать несколько выводов, важных для обсуждаемой проблемы.

1. Оптимальное условное сопротивление теплопередаче конструкции зависит от градусосуток отопительного периода (ГСОП), и эта зависимость имеет форму корня квадратного. Нормативные требования в табл. 3 СП 50.13330.2012 зависят от ГСОП линейно. Таким образом, они неизбежно отличаются от оптимальных значений в большинстве климатических районов. Очевидно, что учет теплотехнической неоднородности конструкции, а также влияние кондиционирования в южных районах страны могут исказить полученную зависимость. Однако маловероятно, что эти искажения сделают квадратный корень линейной функцией.

2. Оптимальное условное сопротивление теплопередаче конструкции зависит от материала, служащего в конструкции утеплителем (через теплопроводность и цену). Действующие требования не зависят от материала конструкции, перед исследователями стоит непростое решение по выбору материала (совокупности материалов), на который необходимо ориентироваться при разработке обоснованных нормативных требований.

3. Оптимальное условное сопротивление теплопередаче конструкции зависит от показателей экономики. Точнее, от соотношения цены утеплителей к цене тепловой энергии, и неявно от долгосрочного уровня инфляции в стране. Последним частично обусловлен выбор срока окупаемости. При выработке новых требований необходимо ориентироваться на будущую экономическую ситуацию в долгосрочной перспективе, что крайне непросто и чревато ошибками.

Описанные выше вопросы возникают даже при простейшем экономическом рассмотрении. Но, кроме этого, есть и технические сложности, связанные с многообразием применяемых в современном строительстве конструктивных решений и материалов. Ведь требования налагаются на конструкцию в целом (к приведенному сопротивлению теплопередаче), а оптимальная толщина утеплителя находится для конструкции по глади без учета неоднородностей. И учет неоднородностей выявит сильнейшую зависимость оптимального значения от принятых конструктивных решений, выбранных материалов, и даже от ситуации на конкретной стройке. Следовательно, для конкретной конструкции оптимизация возможна, и методика ее изложена в разделе 5.10 СП 345.1325800.2017, но этого недостаточно для назначения нормативных требований по причине того, что в одном и том же регионе по одной и той же методике будут получены разные оптимальные сопротивления теплопередаче стен для разных конструктивных решений или различных марок утеплителя. Исходя из этого возникает вопрос: на какое из этих значений ориентироваться при назначении требований?

Еще один редко затрагиваемый вопрос – это уровень точности назначения и предъявления требований. Если требования назначаются по экономическим критериям, то чаще всего небольшое отклонение от заданных значений не несет серьезного урона. Более того, понимая, что и характеристики материалов, и характеристики конструкции находятся не абсолютно точно, а экономическая ситуация может изменяться значительно чаще, чем будут пересматриваться нормативы, некорректно завышать точность требований. Это приведет только к усложнению и удорожанию их выполнения, а не к повышению эффективности.

Рассмотрим данный вопрос на примере. Используем экономические показатели 2019 г. для г. Москвы, чтобы проследить насколько критичны небольшие отклонения от оптимальных значений. На рисунке построен график удельных приведенных затрат в зависимости от толщины утеплителя для однородной стены по формуле (2). Зависимость обозначена синей линией. Красная горизонтальная линия показывает отклонение от оптимального значения удельных приведенных затрат на 5 %.

В данном примере минимум приведенных затрат пришелся на толщину утеплителя (МВП) 160 мм, а точки пересечения линий 80 и 290 мм. Таким образом, отклонения от оптимальной толщины утеплителя в самом широком диапазоне привели в данном примере к увеличению приведенных затрат не более чем на 5 %. Существенную роль в данном результате сыграло то, что приведенные затраты реальной ограждающей конструкции в большей степени зависят от стоимости несущих частей стены и облицовочных слоев, чем от стоимости утеплителя и затрат на последующее отопление здания. 5 % от совокупных затрат это достаточно большая величина. Но даже если отбросить все эти затраты ($K_0^{ед}$), хоть это и не корректно, участок с 5 % отклонением составляет от 110 до 220 мм. Таким образом, не вполне оптимальные требования и не всегда корректное их исполнение пока компенсируются огромным диапазоном относительно оптимальных толщин утеплителя.

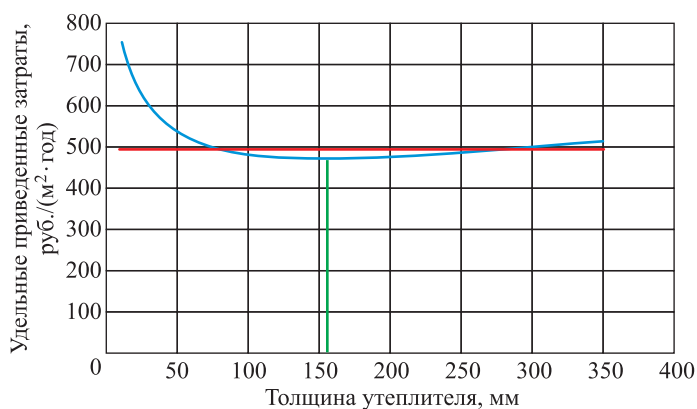


График удельных приведенных затрат в зависимости от толщины утеплителя для однородной конструкции

The graph of the specific reduced costs depending on the thickness of the insulation for a homogeneous structure

Заключение. Проверка корректности, а при необходимости и изменение нормативных требований к приведенному сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций зданий окажется крайне актуальной в ближайшее время. В связи с этим, важной задачей является разработка объективной методики назначения таких требований. Для ее подготовки нужно ответить на ряд сложных вопросов, сформулированных в настоящей статье. Необходимо проверить обоснованность действующей зависимости нормативных требований от ГСОП. Найти разумные способы назначать требования, близкие к оптимальным независимо от применяемых конструктивных решений. Сделать требования независимыми от выбора материала конструкции. И разобратся с необходимой точностью предъявления требований.

Список источников

1. Козлов В.В. Основы оптимизации теплозащиты ограждающих конструкций по окупаемости энергосберегающих мероприятий // Строительные материалы. 2013. № 3. С. 10–13.
2. Гагарин В.Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2009. № 1–3.
3. Мецерыякова Т.С., Самарин О.Д. Методология экономического обоснования реализации энергоэффективных мероприятий с помощью теории «реальных опционов» // Экономика и предпринимательство. 2014. № 8. С. 647–651.
4. Сидельников В.И. Экономические аспекты мероприятий по повышению энергоэффективности зданий // Гуманитарные и социально-экономические науки. 2017. № 6. С. 110–116.
5. Куц Е.В., Кадокова С.Ю., Андреевко А.А. Оптимизационное моделирование энергосберегающего проекта // Инженерный вестник Дона. 2021. № 12. С. 516–528.
6. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 4–12.
7. Грызлов В.С., Каптюшина А.Г. Предложения по нормированию сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 1. С. 41–46.
8. Неклюдов А.Ю. Незапрещенные вопросы методики расчета энергетической эффективности зданий // Жилищное строительство. 2017. № 6. С. 20–23.
9. Гашио Е.Г., Калинина Н.Д., Шуватова И.А. Поиск оптимального подхода к повышению энергоэффективности зданий Крайнего Севера // Энергетические системы: II Междунар. науч.-техн. конф. Секция молодых ученых. Белгород, 2017. С. 72–74.
10. Исмаилова Ш.Т. Критерии выбора оптимального конструктивного решения на примере ограждающих конструкций промышленного здания // Наука и инновационные технологии. 2021. № 3. С. 117–126.
11. Alghoul Samah K., M. Hatab Ali. Building energy efficiency: Optimization of building envelope using grey-based taguchi // Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology. 2016. Vol. 3, Iss. 12.

References

1. Kozlov V.V. Fundamentals of optimization of thermal protection of enclosing structures for the payback of energy-saving measures. *Stroitel'nyye materialy = Building materials*. 2013; (3): 10–13. (In Russ.).

2. *Gagarin V.G.* Methods of economic analysis of increasing the level of thermal protection of enclosing structures of buildings. *AVOK: ventilyatsiya, otopleniye, konditsionirovaniye vozdukha, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika = AVOK: ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermophysics.* 2009; (1–3). (In Russ.).
3. *Meshcheryakova T.S., Samarin O.D.* Methodology of economic justification of the implementation of energy-efficient measures using the theory of "real options." *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Economics and entrepreneurship.* 2014; (8): 647–651. (In Russ.).
4. *Sidelnikov V.I.* Economic aspects of measures to improve energy efficiency of buildings. *Gumanitarnye i sotsial'no-ekonomicheskiye nauki = Humanities and socio-economic sciences.* 2017; (6): 110–116. (In Russ.).
5. *Kutz E.V., Kadokova S.Y., Andreenko A.A.* Optimization modeling of an energy-saving project. *Inzhenernyy vestnik Dona = Engineering Bulletin of the Don.* 2021; (12): 516–528. (In Russ.).
6. *Gagarin V.G., Kozlov V.V.* Theoretical prerequisites for calculating the reduced heat transfer resistance of enclosing structures. *Stroitel'nyye materialy = Building materials.* 2010; (12): 4–12. (In Russ.).
7. *Gryzlov V.S., Kaptyushina A.G.* Proposals for rationing heat transfer resistance of enclosing structures of buildings. *Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii = Modern science-intensive technologies.* 2019; (1): 41–46. (In Russ.).
8. *Neklyudov A.Yu.* Unresolved issues of methods for calculating energy efficiency of buildings. *Zhilishchnoye stroitel'stvo = Housing construction.* 2017; (6): 20–23. (In Russ.).
9. *Gasho E.G., Kalinina N.D., Shuvatova I.A.* Search for an optimal approach to improving the energy efficiency of buildings in the Far North. Energy systems II International Scientific and Technical Conference Section of young scientists. Belgorod, 2017. P. 72–74. (In Russ.).
10. *Ismailova Sh.T.* Criteria for choosing the optimal constructive solution on the example of enclosing structures of an industrial building. *Nauka i innovatsionnyye tekhnologii = Science and innovative technologies.* 2021; (3): 117–126. (In Russ.).
11. *Alghoul Samah K., Hatab Ali M.* Building energy efficiency: Optimization of building envelope using grey-based taguchi. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology.* 2016; 3(12).

Информация об авторах

В.В. Козлов – кандидат технических наук

Л.Р. Тимирханов – аспирант

Information about the authors

V.V. Kozlov – PhD

L.R. Timerkhanov – Post-graduate Student

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.02.2022
Одобрена после рецензирования 21.03.2022
Принята к публикации 28.03.2022

The article was submitted 21.02.2022
Approved after reviewing 21.03.2022
Accepted for publication 28.03.2022