

УДК 332.1

Метод определения экономически целесообразного сопротивления теплопередаче при реконструкции наружных ограждений зданий

Тимур Борисович Темукуев

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова,
Российская Федерация
360030, г. Нальчик, ул. Тарчокова, 1 а
Кандидат экономических наук, доцент
E-mail: timur.temukuyev@umek-sk.ru

Аннотация. В статье рассматривается методика расчета, позволяющая вычислить не только средства, затраченные на реконструкцию здания, но и те средства, которые должны быть сэкономлены из-за уменьшения потребления энергоресурсов при последующей ее эксплуатации. Особо актуально это при подготовке к капитальному ремонту зданий бюджетных учреждений.

Ключевые слова: ограждающие конструкции; сопротивление теплопередаче; утеплитель; срок окупаемости.

Введение. С принятием Федерального закона РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ об энергосбережении [1] стали изменять нормативные документы. Предполагается, начиная с 2010 года, в течение 5 лет уменьшить на 15% энергопотребление объектов бюджетной сферы. Однако невозможно существенно понизить потребление энергоресурсов при эксплуатации старых зданий без реконструкции, которая предполагает утепление их внешних оболочек, поскольку большинство из них были построены в 1971-2003 годах, когда действовали строительные нормы и правила «Строительная теплотехника» в редакциях 1971 и 1979 годов.

Материалы и методы. В настоящее время реконструкцию любого здания необходимо проводить таким образом, чтобы ее удельные тепловые потери стали соответствовать требованиям утвержденного Минрегионом РФ от 30 июня 2012 г. № 265 [2] и введенного в действие с 1 июля 2013 год свода правил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [3]. При этом, не забывая экономическую сторону вопроса [4], определить расчетом, в какой степени оправдана подобная реконструкция для каждого из наружных ограждающих конструкций и соответствует ли она российской концепции нормирования энергоэффективности зданий и сооружений [5].

Обсуждение. Теловой баланс устанавливается в том случае, когда все виды теплопоступлений уравновешиваются суммой тепловых потерь через внешнюю оболочку (наружные ограждения) здания и теплотой, выносимой из помещений воздухом [6]. Экономия энергоресурсов при эксплуатации зданий напрямую зависит от технической грамотной организации эффективной тепловой защиты [7]. В данной статье рассматриваются вопросы, связанные только с тепловыми потерями через наружные ограждения: стены, окна и балконные двери, входные двери и ворота, покрытия (совмещенные), чердачные перекрытия (холодные чердаки), перекрытия теплых чердаков, перекрытия над техническими подпольями, неотопливаемыми подвалами или подпольями, над проездами и эркерами, полов по грунту.

Годовые потери тепла через i -ю ограждающую конструкцию определяются по формуле:

$$Q_i = 0,0864 \frac{A_i \cdot \Delta t \cdot z}{R_i} \text{ или } Q_i = 0,0864 k_i \cdot A_i \cdot \Delta t \cdot z, \text{ МДж/год} \quad (1)$$

где A_i – площадь i -ой ограждающей конструкции, м²; Δt – температурный перепад между средней расчетной температурой внутреннего воздуха здания и средней температурой наружного воздуха отопительного периода, К; z – расчетная продолжительность отопленного периода, сут.; R_i – сопротивление теплопередаче i -ой

ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$; k_i – коэффициент теплопередачи i -ой ограждающей конструкции, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Наружные ограждения здания при реконструкции полностью или частично утепляются. Сопротивление теплопередаче i -ой ограждающей конструкции после нанесения на нее тепловой изоляции определяется по формуле:

$$R_{i2} = R_{i1} + R_{uz} \text{ или } R_{i2} = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}} + \frac{\delta_{uz}}{\lambda_{uz}}, \quad (2)$$

где $R_{i1} = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}}$ – сопротивление теплопередаче i -ой ограждающей

конструкции до утепления, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$; $R_{uz} = \frac{\delta_{uz}}{\lambda_{uz}}$ – сопротивление теплопроводности теплоизоляционного слоя i -ой ограждающей конструкции, установленной при реконструкции $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$; α_{int} , α_{ext} – коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$; δ_i – толщина i -го слоя ограждающей конструкции, м; λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя ограждающей конструкции, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$; δ_{uz} – толщина слоя тепловой изоляции i -й ограждающей конструкции, м; λ_{uz} – коэффициент теплопроводности материала тепловой изоляции i -й ограждающей конструкции, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$; n – число материальных слоев i -й ограждающей конструкции.

Годовые потери тепла через i -ю ограждающую конструкцию до утепления:

$$Q_{i1} = 0,0864 k_{i1} \cdot A_i \cdot \Delta t \cdot z, \text{ МДж/год} \quad (3)$$

где $k_{i1} = \frac{1}{R_{i1}}$, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – коэффициент теплопередачи i -ой ограждающей

конструкции до утепления.

Годовые тепловые потери через i -ю ограждающую конструкцию после утепления:

$$Q_{i2} = 0,0864 k_{i2} \cdot A_i \cdot \Delta t \cdot z, \text{ МДж/год} \quad (4)$$

где $k_{i2} = \frac{1}{R_{i2}}$, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – коэффициент теплопередачи i -ой ограждающей

конструкции после утепления, а соответственно $R_{i2} = R_{i1} + R_{uz}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$.

Годовая экономия тепловой энергии в результате утепления i -ой ограждающей конструкции площадью A_i определится по формуле:

$$\Delta Q_i = Q_{i1} - Q_{i2} \text{ или } \Delta Q_i = 0,0864 (k_{i1} - k_{i2}) \cdot A_i \cdot \Delta t \cdot z, \text{ МДж/год} \quad (5)$$

Годовая экономия тепловой энергии в результате утепления одного квадратного метра i -ой ограждающей конструкции составит:

$$\Delta q_i = 0,0864 (k_{i1} - k_{i2}) \cdot \Delta t \cdot z, \text{ Дж} / (\text{м}^2 \cdot \text{год}) \quad (6)$$

До реконструкции любого здания необходимо определить приоритеты, то есть какие ограждающие конструкции и в какой степени следует утеплять, чтобы выявить экономическую целесообразность намечаемых работ [8]. В идеале следовало бы энергетическим методом определить оптимальное и экономически эффективное сопротивление теплопередаче тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий [9]. В настоящее время использовать данный метод довольно сложно из-за отсутствия необходимой информации об энергозатратах на производство строительных материалов.

Рассмотрим методику расчета, позволяющую вычислить не только средства, затраченные на реконструкцию (утепление) здания, но и те средства, которые должны быть сэкономлены из-за уменьшения потребления энергоресурсов при последующей

эксплуатации объекта. При этом затраченные средства должны быть компенсированы до того, как закончится время предполагаемой эксплуатации здания, т.е. определен срок окупаемости затрат на реконструкцию.

Ожидаемая экономия средств за счет уменьшения потребления тепловой энергии при последующей эксплуатации здания в результате утепления i -ой ограждающей конструкции составит:

$$\Delta \mathcal{E}_i = C \cdot T \cdot \Delta Q_i, \text{ руб.}, \quad (7)$$

а удельная экономия средств

$$\Delta \mathcal{e}_i = C \cdot T \cdot \Delta q_i, \text{ руб./м}^2, \quad (8)$$

где C – средняя предполагаемая цена тепловой энергии за время эксплуатации здания после реконструкции, руб./МДж; T – время предполагаемой эксплуатации здания после реконструкции, год; ΔQ_i , Δq_i – то же, что в формулах (5) и (6).

Приняв затраты средств на утепление i -ой ограждающей конструкции за K_i , руб., используя формулу (7), можно определить срок ее окупаемости:

$$T_{io} = \frac{K_i}{C \cdot \Delta Q_i}, \text{ год.} \quad (9)$$

Ожидаемая экономия средств за счет уменьшения потребления тепловой энергии при последующей эксплуатации здания в результате его реконструкции определится по формуле:

$$\sum_{i=1}^n \Delta \mathcal{E}_i = C \cdot T \sum_{i=1}^n \Delta Q_i, \text{ руб.}, \quad (10)$$

где C и T – тоже, что в формуле (7); $\sum_{i=1}^n \Delta Q_i$ – годовая экономия энергии в результате реконструкции здания, МДж/год.

Используя формулу (9), можно определить срок окупаемости затрат на утепление всего здания:

$$T_o = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{C \sum_{i=1}^n \Delta Q_i}, \text{ год} \quad (11)$$

где $\sum_{i=1}^n K_i$ – затраты на реконструкцию ограждающих конструкций всего здания, руб.

Для решения задачи, связанной с тем, какие ограждающие конструкции и в какой степени утеплить, необходимо провести соответствующее исследование. В первую очередь вычислить соотношение между площадями вертикальных (стен, окон, балконных и входных дверей, ворот) и горизонтальных (покрытий, перекрытий, полов по грунту) наружных ограждений, а затем расчетом выявить – утепление каких из них экономически будет оправдано. При этом следует учитывать не только текущие цены на проведение реконструкции здания, но возможное изменение стоимости энергоносителей в последующие годы эксплуатации объекта.

Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания определяется по формуле:

$$A_e^{sum} = A_W + A_F + A_{ed} + A_c + A_f, \quad (12)$$

где площади: A_W – стен; A_F – окон и балконных дверей; A_{ed} – входных дверей и ворот; A_c – покрытий (совмещенных), чердачных перекрытий (холодного чердака),

перекрытий теплых чердаков; A_f – перекрытий над техническими подпольями, неотапливаемыми подвалами или подпольями, над проездами и эркерами, полов по грунту.

В формуле (12), разделив левую и правую часть на A_e^{sum} , получим доли типов ограждающих конструкций:

$$\frac{A_e^{sum}}{A_e^{sum}} = \frac{A_W}{A_e^{sum}} + \frac{A_F}{A_e^{sum}} + \frac{A_{ed}}{A_e^{sum}} + \frac{A_c}{A_e^{sum}} + \frac{A_f}{A_e^{sum}} \text{ или} \quad (13)$$

$$1 = d_W + d_F + d_{ed} + d_c + d_f$$

где доля от суммарной площади: $d_W = \frac{A_W}{A_e^{sum}}$ – стен; $d_F = \frac{A_F}{A_e^{sum}}$ – окон и балконных

дверей; $d_{ed} = \frac{A_{ed}}{A_e^{sum}}$ – входных дверей и ворот; $d_c = \frac{A_c}{A_e^{sum}}$ – покрытий (совмещенных),

чердачных перекрытий (холодного чердака), перекрытий теплых чердаков; $d_f = \frac{A_f}{A_e^{sum}}$ –

перекрытий над техническими подпольями, неотапливаемыми подвалами или подпольями, над проездами и эркерами, полов по грунту.

Для общего случая формула (13) примет следующий вид:

$$\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A_e^{sum}} = 1 \text{ или } \sum_{i=1}^n d_i = 1. \quad (14)$$

С повышением этажности доля площадей ограждающих конструкций изменяется: вертикальных увеличивается, а горизонтальных уменьшается. Например, у куба соотношение вертикальных и горизонтальных площадей ограждающих конструкций будет как 2:1. Если на него положить второй такой же куб, то соотношение станет как 4:1, а если на них положить третий куб, то – 6:1, и так далее, то есть как $2n:1$, где n – число кубов, находящихся друг над другом.

При реконструкции коэффициент остекленности (отношение общей площади окон к суммарной площади вертикальных поверхностей фасадов) по возможности необходимо привести в соответствие с действующими нормами, которые устанавливают его предельные значения для зданий: жилых не более 18 % и общественных не более 25 %.

При реконструкции зданий с утеплением ограждающих конструкций потребуется замена либо всей системы отопления, либо ее значительной части. Это обстоятельство необходимо учитывать до начала работ, т.е. на стадии предварительной оценки возможных затрат.

Капитальные затраты на реконструкцию только ограждающих конструкций здания без учета прочих затрат определяются по формуле:

$$\sum_{i=1}^n K_i = K_W + K_F + K_{ed} + K_c + K_f, \quad (15)$$

где затраты на реконструкцию: K_W – стен; K_F – окон и балконных дверей; K_{ed} – входных дверей и ворот; K_c – покрытий (совмещенных), чердачных перекрытий (холодного чердака), перекрытий теплых чердаков; K_f – перекрытий над техническими подпольями, неотапливаемыми подвалами или подпольями, над проездами и эркерами, полов по грунту.

Капитальные затраты на реконструкцию здания с учетом прочих затрат составят:

$$K = \sum_{i=1}^n K_i + K_{np}, \quad (16)$$

где K_{np} – прочие затраты, в том числе затраты на реконструкцию системы отопления.

В развернутом виде формула (16) примет вид:

$$K = K_W + d_W \cdot K_{np} + K_F + d_F \cdot K_{np} + K_{ed} + d_{ed} \cdot K_{np} + K_c + d_c \cdot K_{np} + K_f + d_f \cdot K_{np}, \quad (17)$$

а в общем виде она запишется так

$$K = \sum_{i=1}^n (K_i + d_i K_{np}), \quad (18)$$

где $d_i K_{np}$ – доля прочих затрат на реконструкцию i -го типа ограждающей конструкции.

Срок окупаемости затрат на реконструкцию здания с учетом всех израсходованных средств определится по следующей формуле:

$$T_{ок} = \frac{K}{\sum_{i=1}^n \Delta Q_i}, \text{ год.} \quad (19)$$

Реконструкция i -й ограждающей конструкции экономически оправдается при $\Delta \mathcal{E}_i$ больше, чем $(K_i + d_i K_{np})$. Реконструкция же всего здания экономически оправдается

только в том случае, если $\sum_{i=1}^n \Delta \mathcal{E}_i$ будет значительно больше, чем K , т.е. $T \gg T_{ок}$.

При условии, что $\sum_{i=1}^n \Delta \mathcal{E}_i = K$, то реконструкция здания с утеплением наружных ограждений с экономической точки зрения бессмысленна.

При реконструкции любого здания возможны два варианта: толщина тепловой изоляции, устанавливаемой на наружной ограждающей конструкции, ограничивается или не ограничивается технологическими причинами. Если имеются технологические ограничения по толщине изоляции, то необходимо взять ее предельную величину и определить срок окупаемости.

В том случае, если технологические ограничения по толщине изоляции отсутствуют, то нужно задаться сроком окупаемости (T_i), тогда формула (19) примет вид:

$$\sum_{i=1}^n \Delta Q_i = \frac{K}{T_i}, \text{ МДж/год.} \quad (20)$$

Зная необходимую годовую экономию энергии в результате реконструкции здания за год, обратным счетом по приведенным выше формулам можно определить необходимое сопротивление теплопередаче наружных ограждений.

После принятия решения о реконструкции здания необходимо произвести обмеры и вычислить доли различных типов ее наружных ограждений d_i , а затем произвести расчет тепловых потерь для каждого из них и выбрать оптимальный вариант.

Для примера с использованием компьютерной программы [10] рассчитаем расход тепла для отопления двухэтажного здания школы при различных вариантах наложения утеплителя на наружные ограждающие конструкции.

Результаты. Размеры здания по внутреннему обмеру составляют 15,36×31,86 м, а высота от пола 1-го этажа до потолка 2-го этажа – 6 м.

Стены наружные состоят из трех слоев: внутренняя штукатурка цементно-песчаная толщиной $\delta_1 = 0,02$ м, плотностью $\gamma = 1800$ кг/м³ и коэффициентом теплопроводности $\lambda_1 = 0,93$ Вт/(м·К); глиняный кирпич обыкновенный толщиной $\delta_2 = 0,38$ м, плотностью $\gamma = 1800$ кг/м³ и коэффициентом теплопроводности $\lambda_2 = 0,81$ Вт/(м·К); кирпич облицовочный

керамический пустотный толщиной $\delta_3 = 0,12$ м, плотностью $\gamma = 1400$ кг/м³ и коэффициентом теплопроводности $\lambda_3 = 0,64$ Вт/(м·К).

Чердачное перекрытие: железобетонная плита толщиной $\delta_1 = 0,22$ м, плотностью $\gamma = 2500$ кг/м³ и коэффициентом теплопроводности $\lambda_2 = 2,04$ Вт/(м·К).

Окна: однокамерный стеклопакет в ПВХ переплете.

Суммарная площадь поверхностей ограждающих конструкций составляет $A_e^{sum} = 1545,38$ м², в том числе: $A_W = 443,57$ м² – стен; $A_F = 123,07$ м² – окон и входных дверей; $A_c = 489,37$ м² – чердачных перекрытий (холодного чердака); $A_f = 489,37$ м² – полов по грунту. Коэффициент остекленности фасада составляет 21,7%.

Доля площадей поверхности ограждающих конструкций: $d_W = 0,286$ – стен; $d_F = 0,08$ – окон входных дверей; $d_c = 0,317$ – чердачных перекрытий (холодного чердака); $d_f = 0,317$ – полов по грунту.

Вычислим для четырех вариантов приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений здания R_o^r , м²·К/Вт, и соответственно потребность в тепловой энергии на отопление здания за зимний период Q_h^v , ГДж. Расчетная продолжительность отопленного (зимнего) периода принята равной 168 суткам, а расчетная наружная температура – минус 18 градусам Цельсия.

В качестве утеплителя используется экструдированный пенополистирол плотностью $\gamma = 45$ кг/м³ и коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,031$ Вт/(м·К). Рассматривается три случая, когда толщина утеплителя 0,05 м, 0,1 м и 0,15 м.

Первый вариант. Ограждающие конструкции здания без утеплителя.

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений здания $R_o^r = 0,588$ м²·К/Вт, потребность в тепловой энергии на отопление здания за зимний период $Q_h^v = 645,417$ ГДж. В табл. 1 эти показатели представлены для трех вариантов.

Второй вариант. Утепляется только покрытие.

Третий вариант. Утепляются только наружные стены.

Четвертый вариант. Утепляются наружные стены и покрытие.

Таблица 1

Расчетные показатели здания

	Толщина тепловой изоляции, м					
	0,05		0,1		0,15	
	R_m , м ² ·К/Вт	Q_h^v , ГДж	R_m , м ² ·К/Вт	Q_h^v , ГДж	R_m , м ² ·К/Вт	Q_h^v , ГДж
Второй	1,267	284,808	1,389	257,339	1,441	247,228
Третий	0,678	556,756	0,699	538,508	0,709	530,634
Четвертый	1,770	196,146	2,222	150,430	2,469	132,445

Установка тепловой изоляции на чердаке толщиной в 0,05, 0,1 и 0,15 м повышает приведенное сопротивление теплопередаче здания соответственно на 215, 236 и 245 %, и уменьшает потребление тепловой энергии системой отопления на 56, 60 и 62 %.

Установка тепловой изоляции на наружных стенах толщиной в 0,05, 0,1 и 0,15 м повышает приведенное сопротивление теплопередаче соответственно на 115, 119 и 121 %, и уменьшает потребление тепловой энергии системой отопления на 14, 17 и 18 %.

Установка тепловой изоляции на чердаке и наружных стенах толщиной в 0,05, 0,1 и 0,15 м повышает приведенное сопротивление теплопередаче соответственно на 301, 378 и 420 %, и уменьшает потребление тепловой энергии системой отопления на 70, 77 и 80 %.

Заключение. Наибольший одноразовый эффект в рассмотренном случае достигается при утеплении чердачного перекрытия. Поэтому для малоэтажных зданий самый эффективный способ понижения потребления тепловой энергии системой отопления – это утепление чердачных перекрытий, а не утепление наружных стен. Помимо всего прочего первое намного дешевле второго. Однако в каждом конкретном случае необходимо производить расчеты с использованием соответствующих компьютерных программ, чтобы выявить наиболее экономически оправданный вариант утепления соответствующих наружных ограждений здания. В конечном итоге все будет зависеть от отношения между собой площадей различных наружных ограждений.

Примечания:

1. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Российская газета. 2009. 27 ноября.

2. Приказ от 30 июня 2012 г. № 265 Министерства регионального развития РФ об утверждении свода правил «СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» / Режим доступа: base.consultant.ru/КонсультантПлюс/cgi/online.cgi...

3. Свод правил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003». М.: ФАУ «ФЦС», 2012. 95 с.

4. Дмитриев А.Н. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / А.Н. Дмитриев, Ю.А. Табунщиков, И.Н. Ковалев, Н.В. Шилкин. М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. 120 с.

5. Пугачев С.В. Российская концепция нормирования энергоэффективности зданий и сооружений / С.В. Пугачев, Ю.А. Табунщиков, А.Л. Наумов, Е.Н. Фадеева // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2011. № 8. С. 4-15.

6. Малявина Е.Г. Теплопотери здания / Е.Г. Малявина. М. АВОК-ПРЕСС. 2007. 144 с.

7. Васильев Г.П. Эффективная теплозащита – дань моде или экономическая необходимость? / Г.П. Васильев // Энергосбережение. 2011. № 6. С. 14-23.

8. Гагарин В.Г. Экономические аспекты повышения теплозащиты ограждающих конструкций зданий в условиях «рыночной экономики» / В.Г. Гагарин // Новости теплоснабжения. 2002. № 1.

9. Темукуев Б.Б. Энергетический метод определения оптимального и экономически эффективного сопротивления теплопередаче тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий / Б.Б. Темукуев, Т.Б. Темукуев. Труды 7-й Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве» (18-19 мая 2010 г.). Часть 1. Проблемы энергообеспечения и энергосбережения. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. С. 357-362.

10. Семенко О.С., Темукуев Т.Б. Программно-технический комплекс расчета Энергетического паспорта здания «ЮМЭК: Энергопаспорт» (ПТК «ЮМЭК: Энергопаспорт») // Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2011618458. Заявка № 2011616649. Дата поступления 2 сентября 2011 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 27 октября 2011 г.

UDC 332.1

Method of the Detection of the Economically Feasible Thermal Resistance in the Course of Cladding Reconstruction

Timur B. Temukuev

Kabardino-Balkar State Agrarian University named after V.M. Kokova, Russian Federation
Tarchokova Str., 1 a, Kabardino-Balkaria, Nalchik 360030
PhD, Associate Professor
E-mail: timur.temukuyev@umek-sk.ru

Abstract. The paper is concerned with the method of calculation of both the cost of the building reconstruction and the savings from the reduced energy consumption in the course of its use. It is crucial for the preparation of the refurbishment of budgetary institutions.

Keywords: cladding; thermal resistance; heat insulation material; payback period.