

УДК 692.23:699.86

Г. В. Несветаев

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ КАК ВКЛАД В ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Сформулированы предложения по назначению требуемого термического сопротивления ограждающей конструкции в зависимости от глубины помещения, коэффициента остекленности, санитарно-гигиенических требований, ограничения энергопотребления. Показано, что нормативные значения энергозатрат могут быть обеспечены в широком диапазоне изменения термического сопротивления. Предложен вариант ограждающей конструкции, обеспечивающей нормируемые на перспективу показатели энергопотребления зданий.

Ключевые слова: рациональные ограждающие конструкции, термическое сопротивление, нормируемые показатели энергопотребления.

The author defines the proposals concerning the required thermal resistance of external walls depending on the depth of premises, glazing-to-wall ratio, sanitary requirements, and limitations of energy consumption. It has been shown that normative values of energy consumption can be achieved in a wide range of thermal resistance changes. The author proposed the variant of external wall that provides normative indexes of building energy consumption for the future.

Key words: rational external walls, thermal resistance, normative indexes of energy consumption.

Согласно [1], эффективность снижения теплопотерь с повышением термического сопротивления стены носит затухающий характер, вследствие чего, как показано в [2], по достижении некоторого значения величины R_0 дальнейшее ее повышение с целью ограничения суммарных теплопотерь становится весьма неэффективным, что следует, например, из представленных в табл. 1 данных.

Таблица 1

Оценка экономической эффективности повышения термического сопротивления

Показатели	Значения показателей			
Число слоев ПСБ 40 толщиной 50 мм	0	1	2	3
R_0 , м ² ·°С/Вт	1,11	2,11	3,11	4,11
Q , Вт/м ² ·°С	0,9	0,474	0,322	0,243
Эквивалент теплового потока УТ, кг	13,12	6,91	4,69	3,54
Экономия УТ, кг	0	6,21	2,22	1,15
Стоимость сэкономленного УТ*, р.	0	29,2	10,44	5,41
Срок окупаемости затрат, лет, при новом строительстве (трехслойные НСП)	0	3,7	10,4	20
Срок окупаемости затрат, лет, при утеплении фасадов («мокрая» фасадная система)	0	44,5	124,5	240

* Принято 1 кг УТ = 4,7 р.

Расчет распределения суммарных теплопотерь жилого помещения в упрощенном виде можно представить следующим образом:

$$Q = Q_c + Q_o + \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (1)$$

где Q_c — теплопотери через стену; Q_o — теплопотери через светопрозрачное ограждение; $\sum_{i=1}^n Q_i$ — прочие теплопотери (с вентиляцией, через чердак и крышу, через подвал).

Основное требование:

$$[Q] > Q_c + Q_o + \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (2)$$

или

$$Q_c + Q_o < [Q] - \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (3)$$

где $[Q]$ — нормируемый уровень расхода тепловой энергии на отопление (другими источниками тепла пренебрегаем).

Возможно принять норматив прочих теплопотерь в виде доли Δ от допустимых (понятно, что значение величины Δ зависит от типа здания, термического сопротивления стен и окон), тогда

$$Q_c + Q_o < [Q] - \Delta[Q] = [Q](1 - \Delta), \quad (4)$$

откуда с учетом принятого типа окна (термического сопротивления окна) определяется

$$Q_{c, \max} = [Q](1 - \Delta) - Q_o. \quad (5)$$

Совершенно очевидно, что теплопотери через ограждающую конструкцию будут зависеть как от коэффициента остекленности, так и от глубины помещения [3]. Согласно СНиП 31-01—2003 п. 9.13, «отношение площади световых проемов к площади пола жилых помещений и кухни следует принимать не более 1:5,5 (18 % — авт.) и не менее 1:8 (12,5 % — авт.)». Глубина помещений не может превышать 8 м и быть меньше 3,6 м. Согласно [4], двухкамерный стеклопакет в одинарном переплете («бюджетное окно») имеет сопротивление теплопередаче $0,54 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, тепловой поток через окно составит в этом случае $1,85 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

В табл. 2 представлены расчетные значения теплопотерь и требуемых значений термического сопротивления стены с учетом высказанных выше положений.

Таблица 2

*Расчет требуемого термического сопротивления стены
в зависимости от параметров помещения*

Параметры	Шаг поперечных стен					
	4,2			6,0		
Глубина помещения	4,2	6,0	8,0	4,2	6,0	8,0
Площадь окна минимальная	2,2	3,15	4,2	3,15	4,5	6,0
Площадь окна максимальная	3,18	4,53	6,05	4,53	6,48	8,64
Теплопотери через окно $\Delta t = 25$ °С (в числителе — при минимальной площади окна)	$\frac{101,8}{147,1}$	$\frac{145,7}{209,5}$	$\frac{194,3}{279,8}$	$\frac{145,7}{209,5}$	$\frac{208,1}{299,7}$	$\frac{277,7}{399,6}$
Тепловой поток из помещения Q , Вт (при $0,81 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}$, $\Delta t = 25 \text{ °С}$)	358,1	511,6	682,1	511,6	730,8	974,4
Тепловой поток через наружную ограждающую конструкцию, Вт (по ф. (4) при $\Delta = 0,4$)	214,9	307,0	409,3	307,0	438,5	584,6
Тепловой поток через стену, Вт, окно мин;	113,1	161,3	215,1	161,3	230,4	307,1
окно макс	67,8	106,7	129,5	106,7	138,8	185,0
Удельный тепловой поток через стену, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{°С}$	$\frac{0,436}{0,288}$	$\frac{0,684}{0,528}$	$\frac{1,02}{0,79}$	$\frac{0,436}{0,316}$	$\frac{0,684}{0,484}$	$\frac{1,02}{0,79}$
Приведенное термическое сопротивление стены, $\text{м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$	$\frac{2,29}{3,37}$	$\frac{1,46}{1,89}$	$\frac{0,98}{1,27}$	$\frac{2,29}{3,16}$	$\frac{1,46}{2,07}$	$\frac{0,98}{1,27}$
Термическое сопротивление с учетом теплотехнической неоднородности (0,7), $\text{м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$	$\frac{3,27}{4,81}$	$\frac{2,09}{2,7}$	$\frac{1,4}{1,81}$	$\frac{3,27}{4,51}$	$\frac{2,09}{2,96}$	$\frac{1,4}{1,81}$

Как следует из табл. 2, термическое сопротивление стены, удовлетворяющее требованиям по ограничению уровня расхода тепловой энергии на отопление, в зависимости от планировочного решения и коэффициента остекленности может изменяться более чем в 3 раза (4,81/1,4), причем может быть как больше, так и меньше значения, определенного, как будет показано далее, по условию обеспечения требуемого санитарно-гигиенического режима помещения, что является весьма важным фактором качества жизни и здоровья населения.

Поскольку, как отмечалось, термическое сопротивление стены должно обеспечивать не только допустимый уровень энергозатрат на отопление, но и санитарно-гигиенический режим в помещении, то расчетный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции Δt_0 , °С, не должен превышать нормируемых величин Δt_n , °С. Согласно [5]

$$\Delta t_0 = \frac{n(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{R_0 \alpha_{\text{int}}}, \quad (6)$$

откуда может быть определено термическое сопротивление, обеспечивающее требуемый санитарно-гигиенический режим по температурному показателю

$$R_0 = \frac{n(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{\alpha_{\text{int}} \Delta t_0} = \frac{1(20 - (-28))}{8,7 \cdot 4} = 1,38 (1,78 \text{ при } t_{\text{ext}} = -42), \quad (7)$$

где $n = 1$; $t_{\text{int}} = 20 \text{ °С}$; $t_{\text{ext}} = -28 \text{ °С}$ для Москвы (минимальная температура — -42 °С); $\alpha_{\text{int}} = 8,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$; $\Delta t = 4 \text{ °С}$.

С учетом коэффициента теплотехнической однородности $0,7 \dots 0,75$ получим $R_0 = 1,84 - 2,0 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ для $t_{\text{ext}} = -28 \text{ }^\circ\text{C}$ и $2,37 - 2,54 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ для $t_{\text{ext}} = -42 \text{ }^\circ\text{C}$. (Как отмечалось, по предложениям [6] $R_0 = 2,32 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$).

Таким образом, при рациональных архитектурно-планировочных решениях термическое сопротивление, обеспечивающее допустимый температурный перепад, удовлетворяет современным требованиям и по энергосбережению.

Материал и толщина слоев слоистой панели должны удовлетворять требованиям:

- обеспечения термического сопротивления;
- обеспечения массивности (показатель теплоусвоения);
- обеспечения сопротивления паропрооницанию;
- обеспечения требуемого сопротивления воздухопроницанию.

Исторически «эффективные» ограждающие конструкции [3] (стены из дерева, автоклавного газобетона, кирпича керамического пустотного) характеризовались показателем массивности не менее 6, показателем сопротивления паропрооницанию не более 5,3. Уместно установить эти требования и для слоистых панелей крупнопанельных зданий. Необходимо отметить, что снижение показателя теплоусвоения ограждающих конструкций хоть и способствует снижению затрат на разогрев помещения, но может приводить к резким колебаниям температуры конструкции при аварийном отключении системы отопления, что нежелательно с точки зрения как санитарно-гигиенических условий, так и долговечности конструкции.

Анализ известных утеплителей и бетонов по величине массивности, теплопроводности и паропрооницаемости показал, что при равной величине средней плотности различные материалы обладают в определенной степени различной массивностью (рис. 1) и паропрооницаемостью и практически одинаковой теплопроводностью. Следовательно, при выборе материалов целесообразно отдавать предпочтение обладающим большей массивностью и паропрооницаемостью (при условии, что воздухопроницаемость соответствует требуемому значению).

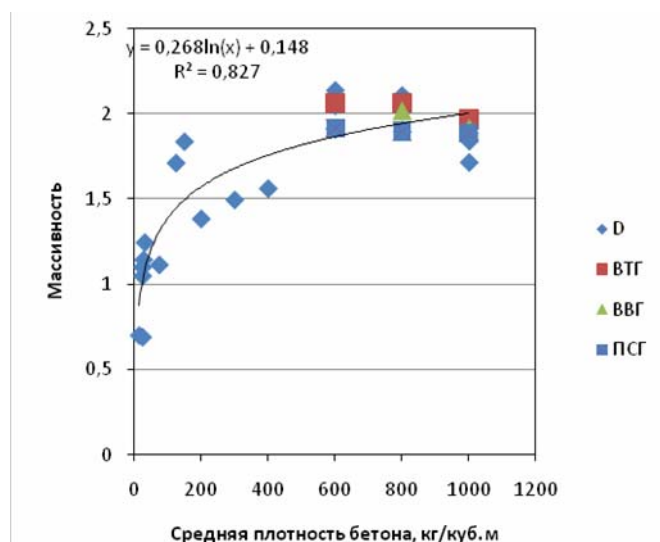


Рис. 1. Зависимость показателя массивности от средней плотности материалов (при толщине слоя 100 мм): D — теплоизоляционные материалы и конструктивно-теплоизоляционные бетоны плотностью 1000 кг/м^3 по СНиП; ВТГ, ВВГ, ПСГ — бетоны на стеклогранулятах [7]

Слоистые панели при толщине 400 мм (бетон средней плотностью 800 кг/м^3 , утеплитель в трехслойных панелях — пенополистирол, средняя плотность 150 кг/м^3 ; термовкладыш — засыпка из керамзита со средней плотностью 250 кг/м^3 или засыпка из стеклопоро со средней плотностью 150 кг/м^3) имеют следующие характеристики (табл. 3). Из табл. 3 следует, что применение панелей с термовкладышами или слоистых панелей может удовлетворять современным требованиям энергосбережения. В перспективе при реализации конструкций с минимально допустимой по СНиП толщиной бетонных слоев 80 мм (толщина утеплителя 240 мм) термическое сопротивление составит, в зависимости от конструкции панели, от 4,16 до $4,72 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$ (приведенное термическое сопротивление примерно от 3,1 до $3,5 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$) при показателе массивности более 6 и сопротивлении паропрооницанию не более 5. При термическом сопротивлении окна $1 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$ и приведенном термическом сопротивлении стены $3,1 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$ теплопотери через ограждающую конструкцию составят, в зависимости от коэффициента остекленности, примерно от 38 до $58 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^2$, или приведенные к единице площади помещения, в зависимости от параметров помещения, примерно от 22 до $32 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^2$.

Таблица 3

Характеристики НСП толщиной 400 мм

Панель	Показатель	Несущий материал панели	
		Керамзитобетон	Бетоны на стеклогранулятах
Трехслойная	Массивность [>6] ¹	$\frac{7,36^3}{7,36}$	$\frac{7,49}{7,5}$
	Термическое сопротивление [>2,7] ^{2, 4}	$\frac{3,46}{3,87}$	$\frac{3,55}{3,94}$
	Сопротивление паропрооницанию [<5,3] ¹	$\frac{4,45}{4,85}$	$\frac{5,3}{5,55}$
	Поверхностная плотность [<300] ¹	$\frac{250}{230}$	$\frac{250}{230}$
С термовкладышами	Массивность [>6] ¹	$\frac{6,69}{6,55}$	$\frac{6,78}{6,6}$
	Термическое сопротивление [>2,7] ^{2, 4}	$\frac{2,21}{2,37}$	$\frac{3,19}{3,52}$
	Сопротивление паропрооницанию [<5,3] ¹	$\frac{2,05}{1,95}$	$\frac{2,95}{2,65}$
	Поверхностная плотность [<300] ¹	$\frac{270}{250}$	$\frac{250}{230}$

Примечания: ¹ рекомендуемое значение; ² требуемое значение; ³ в числителе при толщине утеплителя 150 мм (бетон 80 + 170 мм), в знаменателе — 180 мм (бетон 80 + 140 мм); ⁴ для Москвы.

По некоторым данным, затраты на отопление в зданиях с низким потреблением энергии не превышают 46 % общих энергозатрат. По данным О. Сеппанен (www.abok.ru) эта величина не превышает 36 %. Если принять это значение от норматива $86 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, получим $31 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$. По данным [4], в 1999 г. затраты на отопление и вентиляцию составляли по многоквартирным жилым домам $95 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, а с 01.10.2010 расход тепла на отопление и вентиляцию не должен превышать $71 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ при общем энергопотреблении не более $160 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$. По данным Б. М. Шойхета (www.abok.ru), в зданиях с низким энергопотреблением расход энергии на отопление не превышает $50 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ (в «пассивных» зданиях менее $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$). Таким образом, ограждающие конструкции из трехслойных панелей или панелей с термовкладышами рациональной конструкции из бетонов на стеклогранулятах или керамзитобетона даже при невыполнении требования $R_0 = 4 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$ в принципе могут удовлетворять перспективным требованиям по снижению общего энергопотребления в жилищном строительстве. Поскольку использование в качестве утеплителя неорганических материалов предпочтительнее [7], очевидно, что применение панелей с термовкладышами из бетонов на стеклогранулятах является более рациональным решением. Кроме того, такое решение устраняет известные проблемы гибких связей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Перехоженцев А. Г.* О необходимости корректировки СНиП 23-02—3003 «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство. 2009. № 11. С. 2—6.
2. *Гагарин В. Г.* Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2010. № 3. С. 8—13.
3. *Несветаев Г. В., Давидюк А. Н.* К вопросу проектирования рациональных ограждающих конструкций жилых зданий.
4. СП 23-101—2004. Проектирование тепловой защиты зданий.
5. СНиП 23-02—2003. Тепловая защита зданий.
6. *Табунщиков Ю. А.* Энергоэффективные здания — возможности московского строительства [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.abok.ru>. (дата обращения : 03.02.2012)
7. *Несветаев Г. В., Давидюк А. Н.* Эффективные материалы и конструкции для решения проблемы энергосбережения зданий.
1. *Perekhozhentsev A. G.* O neobходимosti korrэktirovki SNiP 23-02—3003 “Teplovaya zashchita zdani” // Zhilishchnoe stroitelstvo. 2009. № 11. S. 2—6.
2. *Gagarin V. G.* Makroekonomicheskie aspekty obosnovaniya energosberegayushchikh meropriyati pri povyshenii teplozashchity ograzhdayushchikh konstruktsei zdani // Stroitel'ye materialy. 2010. № 3. S. 8—13.
3. *Nesvetaev G. V., Davidyuk A. N.* K voprosu proektirovaniya ratsionalnykh ograzhdayushchikh konstruktsei zhilykh zdani.
4. SP 23-101—2004. Proektirovanie teplovoi zashchity zdani.
5. SNiP 23-02—2003. Teplovaya zashchita zdani.
6. *Tabunshchikov Ju. A.* Energoeffektivnye zdaniya — vozmozhnosti moskovskogo stroitelstva. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.abok.ru>. (data obrashcheniya: 03.02.2012).
7. *Nesvetaev G. V., Davidyuk A. N.* Effektivnyye materialy i konstruktsei dlya resheniya problemy energosberezheniya zdani.

© Несветаев Г. В., 2012

Поступила в редакцию
в феврале 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Несветаев Г. В. Рациональные ограждающие конструкции жилых зданий как вклад в обеспечение экологической безопасности // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 1(20).