

Теплотехнический расчет наружных стен зданий из автоклавного газобетона

Тепловая защита здания при проектировании по СНиП 23-02-03 «Тепловая защита зданий» оценивается по основным трем нормативным показателям:

1. Нормируемое сопротивление теплопередаче глухой части наружной стены.
2. Санитарно-гигиеническое сопротивление теплопередаче, обеспечивающее допустимый температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающих конструкций.

3. Удельный расход тепловой энергии на отопление здания, позволяющий варьировать теплозащитные свойства различных видов ограждающих конструкций с учетом объемно-планировочных решений здания и систем поддержания микроклимата для достижения нормируемого значения этого показателя.

Согласно СНиП 23-02 требования тепловой защиты удовлетворяются, если в жилых и общественных зданиях будут соблюдены нормативные показатели по тепловой защите либо «1» и «2», либо «2» и «3».

1.1 Методика расчета сопротивления теплопередаче наружных стен

В наружных стенах, где применяются автоклавные газобетонные блоки, приведенное сопротивление теплопередаче R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ определяется по формуле

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \frac{1}{\alpha_e} + R_k, \quad (1.1)$$

где $\alpha_{\text{int}} = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности наружной стены, определяемый по СНиП 23-02-06;

$\alpha_e = 23 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены для зимних условий;

$R_k = R_{\text{сб}}$ – термическое сопротивление однослойной стены, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$;

$R_k = R_{\text{сб}} + \sum_n R_i$ – то же для многослойной стены (например, слой из газобетонных блоков, минваты и облицовки).

Термическое сопротивление однородного слоя определяется по формуле

$$R_n = \frac{\delta}{\lambda}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}, \quad (1.2)$$

где δ – толщина стены (слоя), м;

λ – расчетный коэффициент теплопроводности материала, из которого выполнен рассматриваемый слой, $\text{Вт/м} \cdot \text{°C}$.

Расчетный коэффициент λ зависит от марки по плотности блоков кладки, равновесной влажности стены и вида кладочного раствора.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены здания должно приниматься не менее установленной нормируемой величины, максимальное значение которой R_{req} зависит от количества градусо-суток (D) отопительного сезона рассматриваемого района строительства. Полученные расчетные значения R_{req} и R_{min} приведены в таблице 1.1. Минимальное значение R_{min} нормируемого приведенного сопротивления стены принимается согласно СНиП 23-02 равным $R_{\text{min}} = 0,63R_{\text{req}}$.

Величина градусо-суток отопительного периода определяется по формуле

$$D_d = (t_{\text{int}} - t_{\text{ht}})z_{\text{ht}}, \quad (1.3)$$

где t_{int} – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания принимается по ГОСТ 30494 равной 20 °C ;

t_{ht} , z_{ht} – средняя температура наружного воздуха, °C , и продолжительность, сутки, отопительного периода, принимаемые по СНиП 23-01 для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха для жилых зданий не более 8 °C . Количество градусо-суток отопительного периода для рассматриваемых областей строительства Северо-Западного региона приведено в таблице 1.1. Максимальная величина R_{req} определяется интерполяцией величин таблицы 4 СНиП 23-02.

Второй нормируемый показатель тепловой защиты здания – санитарно-гигиенический –

определяет минимальное значение приведенного сопротивления теплопередаче стены R_0^k , при котором не происходит дискомфорта от зимнего охлаждения поверхности стены, т.е. должно удовлетворяться условие $R_0^k \leq R_{\min}$. Величина R_0^k , $\text{м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ определяется по формуле

$$R_0^k = \frac{n(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{\Delta t \cdot \alpha_{\text{int}}} \leq R_{\min}, \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт} \quad (1.4)$$

где n – коэффициент, для стен $n=1$ (таблица 6 СНиП 23-02);

Δt_n – допустимый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С , принимаемый по таблице 5 СНиП 23-02, для жилых зданий $\Delta t_n=4 \text{°С}$;

α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{°С}$, принимаемый по таблице 7 (СНиП 23-02) $\alpha_{\text{int}} = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}$;

t_{int} – то же, что и в формуле, $t_{\text{int}} = 20 \text{°С}$.

t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °С , для зданий, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 СНиП 23-01 для каждой рассматриваемой области.

Таблица 1.1 – Нормируемые максимальные и минимальные значения сопротивления теплопередаче наружных стен жилых зданий

Наименование областей, республик, городов	Продолжительность отопительного периода $z_{\text{от}}$, сут	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{\text{от}}$, °С	Градусо-сутки отопительного периода D_d , $\text{°С} \cdot \text{сут}$	Нормируемое сопротивление теплопередаче стен, $\text{м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$	
				максимум R_{req}	допускаемый минимум $R_{\min} = 0,63R_{\text{req}}$
Архангельская	max 277	-6,6	7368	3,98	2,51
	min 248	-3,9	5927	3,47	2,19
Вологодская	max 236	-4,9	5876	3,46	2,18
	min 231	-3,4	5405	3,29	2,07
Республика Коми	max 286	-8,6	8480	4,26	2,68
	min 245	-5,8	6321	3,61	2,27
Санкт-Петербург	max 220	-1,8	4796	3,08	1,94
Ленинградская	max 228	-2,9	5221	3,23	2,03
	min 227	-2,8	5176	3,21	2,02
Мурманская	max 276	-5,2	7038	3,86	2,43
	min 294	-0,7	6086	3,53	2,22
Калининградская	max 193	1,1	3648	2,68	1,69
Новгородская	max 221	-2,3	4928	3,12	1,96
Псковская	max 212	-1,8	4622	3,02	1,90
Республика Карелия	max 258	-4,2	6234	3,58	2,25
	min 240	-3,1	5544	3,34	2,10

В таблице 1.2 даны приведенные сопротивления стены, обеспечивающие комфортность проживания, при самых сильных морозах.

Из сравнения приведенных в таблице 1.2 значений R_0^k с минимальными нормативными величинами приведенного сопротивления R_{\min} (таблица 1.3) следует, что величины R_0^k меньше R_{\min} для всех рассматриваемых областей. Это означает, что второй нормируемый показатель по тепловой защите зданий удовлетворяется при всех значениях R_{\min} для этих областей.

Окончательная величина приведенного сопротивления теплопередаче стены устанавливается после расчета третьего показателя – удельного расхода тепловой энергии на

отопление здания за отопительный период q_h^{des} , кДж/м²·°С·сут. Показатель q_h^{des} рассчитывается по методике, приведенной в СНиП 23-02, с учетом геометрических параметров рассчитываемого здания и теплотехнических показателей его наружных ограждающих конструкций. На основании полученных расчетных данных составляется энергетический паспорт здания.

Таблица 1.2 – Приведенное сопротивление стены, обеспечивающее комфортность проживания

Наименование областей	Расчетная температура воздуха в холодный период года t_{ext} , °С	Расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания t_{int} , °С	Приведенное сопротивление стены, обеспечивающее комфортность проживания, Вт/м ² ·°С
Архангельская	-47	20	1,92
Вологодская	-39	20	1,69
Республика Коми	-50	20	2,01
Санкт-Петербург	-26	20	1,32
Ленинградская	-29	20	1,40
Мурманская	-36	20	1,61
Калининградская	-19	20	1,12
Новгородская	-27	20	1,35
Псковская	-27	20	1,35
Республика Карелия	-32	20	1,54

Полученный удельный расход тепловой энергии q_h^{des} сравнивается с нормативным q_h^{req} (таблица 9 СНиП 23-02). При этом рассчитывается коэффициент энергетической эффективности здания по формуле

$$K_{\phi} = \frac{(q_h^{des} - q_h^{req})}{q_h^{req}} \cdot 100\% . \quad (1.5)$$

По величине коэффициента K_{ϕ} энергетическая эффективность зданий подразделяется на следующие классы:

- класс А (очень высокий) $K_{\phi} \leq -50\%$
- класс В (высокий) $-51\% \leq K_{\phi} \leq -9\%$
- класс С (нормальный) $-9\% \leq K_{\phi} \leq 5\%$

Из приведенных величин отклонений следует, что по расходу тепловой энергии здания нормального класса С могут отличаться от зданий класса А более чем в 2 раза. При нецентрализованном отоплении потребитель сам может оценивать экономичность того или иного решения.

1.2 Коэффициенты теплопроводности материалов

Коэффициент теплопроводности материала λ , Вт/м·°С – величина, численно равная плотности теплового потока, проходящего в термостатических условиях через слой материала толщиной в 1 м при разнице температур на его поверхности в 1 °С.

Коэффициент λ определяется по ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме».

При теплотехнических расчетах используются коэффициенты теплопроводности материала при равновесной влажности λ , величина которой зависит от влажностного режима помещений и зоны влажности в той области, где располагается рассматриваемый дом. По условиям эксплуатации территория РФ делится на 3 зоны влажности: А – нормальная, Б – влажная, С – сухая. Рассматриваемые области Северо-Западного региона располагаются в зонах А и Б. В таблице 4.3 приведено распределение этих областей по зонам влажности согласно схематической карте влажности (СНиП 23-01).

Таблица 1.3 – Распределение областей по условиям эксплуатации

Наименование областей	Условия эксплуатации
Санкт-Петербург	Б
Ленинградская	А, Б
Псковская	А
Новгородская	А
Мурманская	Б
Вологодская	А
Архангельская	А, Б
Калининградская	Б
Республика Коми	А
Республика Карелия	Б

В условиях А относительная влажность воздуха принимается 80 %, в Б – влажность воздуха равна 97%. Расчетная равновесная влажность устанавливается на основании экспериментальных данных.

Коэффициенты теплопроводности рассматриваемых материалов приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Коэффициенты теплопроводности материалов

Наименование материала	Плотность, ρ_0 , кг/м ³	Расчетное массовое отношение влаги в материале при условиях эксплуатации в зонах, ω , %		Коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·°С		
		А	Б	λ_0 в сухом состоянии	в условиях эксплуатации	
					А	Б
Автоклавный газобетон, пенобетон	600	5	6	0,14	0,16	0,18
	500	5	6	0,12	0,12	0,14
	400	5	6	0,10	0,10	0,12
Керамзитобетон на керамзитовом песке или керамзитопенобетон	600	5	10	0,16	0,2	0,26
	500	5	10	0,14	0,17	0,23
Полистиролбетон	600	4	8	0,145	0,14	0,16
	500	4	8	0,125	0,12	0,135
	400	4	8	0,105	0,09	0,11
Дерево (сосна, ель поперек волокон)	500	15	20	0,090	0,14	0,18
Дерево (сосна, ель вдоль волокон)	500	15	20	0,18	0,29	0,35
Фанера	600	10	13	0,12	0,15	0,18
Минеральная плита	300	2	5	0,084	0,087	0,09
	200	2	5	0,07	0,076	0,08
	100	2	5	0,056	0,06	0,07
Штукатурка (состав - песок, известь, цемент)	1700	2	4	0,52	0,7	0,87

1.3 Коэффициенты теплопроводности кладки стен

1.3.1 Стены из автоклавных газобетонных блоков

Коэффициент теплопроводности кладки стен из газобетонных блоков, изготовленных с применением заполнителя кварцевого песка, зависит от марки газобетона по средней плотности D, плотности раствора или клея, применяемого при кладке, ее равновесной влажности (таблица 1.5) (расчетного массового отношения влаги в материале).

Таблица 1.5 – Коэффициенты теплопроводности кладки стен из автоклавных газобетонных блоков на клеевом растворе с толщиной швов 1-2 мм

Марка автоклавных газобетонных блоков по	Коэффициент теплопроводности кладки в сухом состоянии, Вт/м·°С	Расчетное массовое отношение влаги в материале (при условиях эксплуатации), ω , %	Коэффициент теплопроводности при условиях эксплуатации λ , Вт/м·°С
--	--	--	--

плотности		А	Б	А	Б
		D600	0,15	5	6
D500	0,13	5	6	0,15	0,17
D400	0,11	5	6	0,13	0,15

Таблица 1.6 – Коэффициенты теплопроводности кладки стен из автоклавных газобетонных блоков на цементно-песчаном растворе $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$ с толщиной швов 10-12 мм

Марка автоклавных газобетонных блоков по плотности	Коэффициент теплопроводности кладки в сухом состоянии, Вт/м·°С	Расчетное массовое отношение влаги в материале (при условиях эксплуатации), ω , %		Коэффициент теплопроводности при условиях эксплуатации λ , Вт/м·°С	
		А	Б	А	Б
D600	0,17	5	6	0,23	0,25
D500	0,15	5	6	0,21	0,23
D400	0,13	5	6	0,19	0,21

Таблица 1.7 – Коэффициенты теплопроводности кладки стен из автоклавных газобетонных блоков на теплом растворе $\gamma_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$ с толщиной швов 10-12 мм

Марка автоклавных газобетонных блоков по плотности	Коэффициент теплопроводности кладки в сухом состоянии, Вт/м·°С	Расчетное массовое отношение влаги в материале (при условиях эксплуатации), ω , %		Коэффициент теплопроводности при условиях эксплуатации λ , Вт/м·°С	
		А	Б	А	Б
D600	0,16	5	6	0,20	0,23
D500	0,14	5	6	0,18	0,21
D400	0,12	5	6	0,17	0,19

1.4 Пример расчета приведенного сопротивления теплопередаче стен из автоклавных газобетонных блоков D400, D500, D600 на растворе и на клею без облицовки и с облицовкой лицевым и силикатным кирпичом

Пример расчета приведенного сопротивления теплопередаче R_0 стен жилых зданий из автоклавных газобетонных блоков выполняется для Санкт-Петербурга.

Исходные данные:

1. Марки по плотности газобетонных блоков – D400, D500, D600.
2. Условия эксплуатации зданий в Санкт-Петербурге относятся к зоне Б. Равновесная влажность автоклавных газобетонных стен в зоне «Б» принимается равной 6 % (таблица 1.6).
3. Виды кладки:
 - на цементно-песчаном растворе плотностью $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$;
 - клею.
4. Расчетные температуры воздуха в холодный период года t_{ext} , °С принимаются по таблице 1.3. Для Санкт-Петербурга $t_{ext} = -26 \text{ °С}$.

Последовательность расчета:

1. Определяется количество градусо-суток в районе строительства по формуле 1.4. Для рассматриваемых в работе районов величины D_d приведены в таблице 1.2. Если D_d не известна, то для ее расчета по формуле 1.4 находим по таблице 1 СНиП 23-01 t_{ht} и z_{ht} - среднюю температуру наружного воздуха, °С, и продолжительность, сутки, отопительного периода для рассматриваемого района строительства период со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8°С.

По формуле 1.4 вычисляется величина D_d , градусо-сутки. Для Санкт-Петербурга

$$D = [(20 - (-1,8)) \cdot 220] = 4796 \text{ градусо-суток.}$$

2. По таблице 4 СНиП 23-02 и полученной величине D_d находим максимальное значение нормативного приведенного сопротивления теплопередаче стены R_{req}^{max} и вычисляем минимальные $R^{min} = 0,63R_{req}^{max}$. Для Санкт-Петербурга $R_{req}^{max} = 3,08 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ и $R_{min} = 1,96 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

3. По формуле 1.5 вычисляется приведенное сопротивление стены R_0^k обеспечивающее комфортность проживания. Для Санкт-Петербурга $R_0^k = 1,32 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Величина $R_0^k = \frac{1(20 - (-26))}{4 \cdot 8,7} = 1,32 < R_{min} = 1,96$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, что удовлетворяет нормативным требованиям.

4. Максимальную и минимальную толщину стен δ_{max} и δ_{min} , м обеспечивающую нормативное приведенное сопротивление теплопередаче R_{req} и R_{min} вычисляется по преобразованной формуле 1.1.

$$R_{req} = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_{max}}{\lambda} \quad (1.6)$$

Подставив в формулу 1.6 значения $\alpha_{int} = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ и $\alpha_e = 23 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ и преобразовав ее, получим

$$\delta_{max} = \lambda \cdot (R_{req} - 0,158), \text{ м} \quad (1.7)$$

$$\delta_{min} = \lambda \cdot (R_{min} - 0,158), \text{ м} \quad (1.8)$$

где λ – коэффициент теплопроводности стены, принимаемый по таблице 1.6.

5. Для Санкт-Петербурга результаты расчета максимальной и минимальной толщин стен из автоклавных газобетонных блоков D400, D500, D600 приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Толщина стен из автоклавных газобетонных блоков для Санкт-Петербурга

Марка автоклавного газобетона по плотности	Кладка стен из газобетонных блоков					
	на клею			на цементно-песчаном растворе		
	коэффициент теплопроводности (зона Б), λ , Вт/м·°C	максимальная толщина, δ_{max} , м	минимальная толщина, δ_{min} , м	коэффициент теплопроводности (зона Б), λ , Вт/м·°C	максимальная толщина, δ_{max} , м	минимальная толщина, δ_{min} , м
D600	0,19	0,55	0,34	0,25	0,73	0,45
D500	0,17	0,50	0,30	0,23	0,67	0,41
D400	0,15	0,44	0,27	0,21	0,60	0,38

6. Приведенное сопротивление теплопередаче стены из газобетонных блоков облицованных снаружи кирпичом без зазора между газобетоном и облицовкой определяется по формуле с введением дополнительного слагаемого

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta}{\lambda} + R_{кр}, \quad (1.9)$$

где $R_{кр} = \frac{\delta_{кр}}{\lambda_{кр}}$ – термическое сопротивление кирпичного облицовочного слоя, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$;

$\delta_{кр}$ – толщина кирпичной облицовки, м;

$\lambda_{кр}$ – коэффициент теплопроводности кирпичной кладки, $\text{Вт/м} \cdot \text{°C}$.

7. Кирпичная облицовка стен из газобетонных блоков выполнена из полнотелого кирпича толщиной в $\frac{1}{2}$ кирпича, или $\delta_{кр} = 0,12 \text{ м}$. Коэффициент теплопроводности кладки ($\lambda_0 = 1800 \text{ кг/м}^2$) на цементно-песчаном растворе плотностью $\lambda_0 = 1800$, кг/м^2 , $\lambda_{кр} = 0,81$,

Вт/м·°С. Тогда $R_{кр} = \frac{0,12}{0,81} = 0,15 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$.

8. Облицовка, выполненная из пустотелого кирпича $\gamma_0 = 1200$, кг/м³ на цементно-песчаном растворе $\gamma_n = 1330$, кг/м³, имеет в зоне «Б» $\lambda_k = 0,50$, Вт/м·°С, а термическое сопротивление теплопроводности $R_{кр} = \frac{0,12}{0,5} = 0,24$, м²·°С/Вт.

9. Облицовка, выполненная из силикатного кирпича $\gamma_0 = 1800$ кг/м³ на цементно-песчаном растворе $\gamma_n = 1800$ кг/м³, имеет в зоне «Б» $\lambda_{кр} = 1,05$ Вт/м·°С, а сопротивление теплопроводности $R_{кр} = \frac{0,12}{1,05} = 0,11 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$.

10. Облицовка кирпичом газобетонной стены увеличивает ее толщину и приведенное сопротивление теплопередаче R_0 . Если $R_0 > R_{\min}$ или $R_0 > R_{\text{req}}$, где R_{req} , R_{\min} - максимальные и минимальные нормативные значения сопротивления теплопередаче, то максимальная и минимальная толщины двухслойной стены, удовлетворяющие нормативным требованиям вычисляются по формуле

$$\delta_{\max(\min)} = \lambda \cdot (R_{\text{req}(\min)} - R_{кр} - 0,158) + \delta_{кр}, \quad (1.10)$$

где λ – коэффициент теплопроводности газобетонной кладки (таблица 4.5);

$R_{кр}$ – сопротивление теплопередаче кирпичной облицовки (см. 7);

$\delta_{кр} = 0,12$ м – толщина кирпичной облицовки.

Результаты расчета приведены в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Максимальная и минимальная толщины автоклавной газобетонной стены с наружной кирпичной облицовкой

Марка блоков по плотности	Толщина автоклавной газобетонной стены, облицованной кирпичом					
	кладка блоков на клею			кладка блоков на растворе		
	полнотелый $\gamma_0 = 1800$, кг/м ³	пустотелый $\gamma_0 = 1200$, кг/м ³	силикатный $\gamma_0 = 1800$, кг/м ³	полнотелый $\gamma_0 = 1800$, кг/м ³	пустотелый $\gamma_0 = 1200$, кг/м ³	силикатный $\gamma_0 = 1800$, кг/м ³
Минимальная						
D600	0,43 (0,31+0,12)	0,41 (0,29+0,12)	0,44 (0,32+0,12)	0,53 (0,41+0,12)	0,51 (0,39+0,12)	0,54 (0,42+0,12)
D500	0,40 (0,28+0,12)	0,38 (0,26+0,12)	0,41 (0,29+0,12)	0,50 (0,38+0,12)	0,48 (0,36+0,12)	0,51 (0,39+0,12)
D400	0,37 (0,25+0,12)	0,35 (0,23+0,12)	0,37 (0,25+0,12)	0,47 (0,35+0,12)	0,45 (0,33+0,12)	0,48 (0,36+0,12)
Максимальная						
D600	0,64 (0,52+0,12)	0,63 (0,51+0,12)	0,65 (0,53+0,12)	0,81 (0,69+0,12)	0,63 (0,51+0,12)	0,65 (0,53+0,12)
D500	0,59 (0,47+0,12)	0,58 (0,46+0,12)	0,60 (0,48+0,12)	0,76 (0,64+0,12)	0,57 (0,45+0,12)	0,60 (0,48+0,12)
D400	0,53 (0,41+0,12)	0,54 (0,42+0,12)	0,54 (0,42+0,12)	0,70 (0,58+0,12)	0,52 (0,40+0,12)	0,54 (0,42+0,12)

1.5 Методика расчета и выбор толщины наружных стен из автоклавных газобетонных блоков D400, D500, D600 на растворе и на клею на основании расчета удельного расхода тепловой энергии на отопление жилых зданий для Санкт-Петербурга, Архангельской, Вологодской, Калининградской, Ленинградской, Мурманской, Новгородской, Псковской областей, республик Карелии и Коми

Окончательная толщина стены из автоклавных газобетонных блоков и величина ее приведенного сопротивления теплопередаче устанавливается после расчета удельного расхода тепловой энергии на отопление здания за отопительный период q_h^{des} , кДж/м²·°С·сут. Показатель q_h^{des} рассчитывается по методике, приведенной в СНиПе 23-02, с учетом геометрических

показателей рассчитываемого здания и теплотехнических показателей его ограждающих конструкций.

Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период q_h^{des} , кДж/м²·°С·сут, следует определять по формуле

$$q_h^{des} = 10^3 \frac{Q_h^y}{A_h D_d}, \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{сут} \quad (1.11)$$

где Q_h^y - расход тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода, МДж;

A_h - сумма площадей пола квартир или полезной площади помещений здания, за исключением технических этажей и гаражей, м²;

D_d - то же, что и в формуле (1.4).

Расход тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода Q_h^y , МДж, определяется по формуле

$$Q_h^y = [Q_h - (Q_{int} + Q_s) \cdot \nu \cdot \zeta] \cdot \beta_h, \text{ МДж} \quad (1.12)$$

где Q_h - общие теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции, МДж;

Q_{int} - бытовые теплопоступления в течение отопительного периода, МДж;

Q_s - теплопоступления через окна и фонари от солнечной радиации в течение отопительного периода, МДж;

ν - коэффициент снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемое значение $\nu = 0,8$;

ζ - коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления. Рекомендуемые значения в зависимости от систем отопления $\zeta = 1,0 \div 0,5$ (СНиП 23-02);

β_h - коэффициент, учитывающий дополнительное теплопотребление системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплопотерями через радиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения, в зависимости от типа дома; рекомендуется принимать значения $\beta_h = 1,05 \div 1,11$ (СНиП 23-02).

Общие теплопотери здания через ограждающие конструкции Q_h , МДж определяются по формуле

$$Q_h = 0,0864 \cdot (K_m^{tr} + K_m^{inf}) \cdot D_d \cdot A_e^{sum}, \quad (1.13)$$

где K_m^{tr} - приведенный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания, Вт/м²·°С;

K_m^{inf} - условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции, Вт/м²·°С;

D_d - то же, что и в формуле (1.4);

A_e^{sum} - общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций, включая покрытие (перекрытие) верхнего этажа и перекрытие пола нижнего отапливаемого помещения, м².

Коэффициенты K_m^{tr} и K_m^{inf} определяются по формулам СНиП 23-02. Их величины зависят от геометрических и теплоэнергетических показателей здания. Геометрические показатели состоят из площадей наружных ограждающих конструкций здания (наружных стен, окон, витражей, фонарей, дверей балконных, входных, ворот, перекрытий, покрытий), площадей квартир, жилых помещений, отапливаемого объема, коэффициентов остекления и компактности. Теплоэнергетические показатели включают в себя приведенные сопротивления теплопередаче всех перечисленных выше ограждающих конструкций здания, а также кратность воздухообмена здания за отопительный период.

Бытовые теплопоступления в течение отопительного периода вычисляются по формуле

$$Q_{int} = 0,0864 \cdot q_{int} \cdot z_{ht} \cdot A_l, \quad (1.14)$$

где q_{int} - величина бытовых тепловыделений на 1 м^2 площади жилых помещений или расчетной площади общественного здания, $\text{Вт}/\text{м}^2$, принимаемая по СНиП 23-02 для жилых зданий в зависимости от расчетной заселенности квартир $q_{\text{int}} = 10 \div 17 \text{ Вт}/\text{м}^2$;

z_{ht} - то же, что в формуле (1.4);

A_l - для жилых зданий – площадь жилых помещений и кухонь, м^2 .

Теплопоступления через окна, фонари от солнечной радиации Q_s определяются по формулам, приведенным в СНиП 23-02, и зависят от площади светопрозрачных конструкций, проникновения через них солнечной радиации, ориентации стен здания по сторонам света, от географического района строительства.

Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период q_h^{des} , $\text{кДж}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$, должен быть меньше или равен q_h^{req} , т.е. должно удовлетворяться неравенство

$$q_h^{\text{des}} \leq q_h^{\text{req}}, \quad (1.15)$$

где q_h^{req} - нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление здания $\text{кДж}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$, определяемый для различных типов жилых и общественных зданий по таблицам 8,9 СНиП 23-02-03. При этом рассчитывается коэффициент энергетической эффективности здания по формуле 1.5.

Полученная величина коэффициента K_ϕ позволяет оценить рассматриваемое здание по энергетической эффективности к одному из следующих классов: А - очень высокий, В - высокий, С - нормальный (см. п. 4).

При централизованном отоплении, если в результате расчета удельный расход тепловой энергии на отопление здания окажется существенно ниже нормируемого значения для зданий класса С, то допускается принимать сопротивления теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания меньше максимальных нормируемых значений R_{req} , но не ниже минимальных величин R_{min} . Для стен $R_{\text{min}} \geq 0,63R_{\text{req}}$ (п. 4.1), для остальных ограждающих конструкций $R_{\text{min}} = 0,8R_{\text{req}}$.

На теплотери здания через стены здания существенно влияет величина приведенного сопротивления теплопередаче R_0 и их толщина δ .

Максимальные и минимальные нормируемые сопротивления теплопередаче стен для рассматриваемых областей приведены в таблице 1.2, коэффициенты теплопроводности кладки стен из газобетонных блоков приведены в таблицах 1.5, 1.6, 1.7.

По формулам 1.6, 1.7 рассчитываются максимально и минимально допустимые толщины стен из газобетонных блоков, удовлетворяющие нормативным требованиям. Результаты расчетов толщин стен на клею и растворе приведены в таблицах 1.13, 1.14. Как правило минимальные значения толщины стены при остеклении не более допустимого, обеспечивает нормативную теплоэффективность зданий.

Таблица 1.10 - Нормируемая максимальная и минимальная толщина стен из автоклавных газобетонных блоков при кладке стен на клею.

Марка блоков по плотности	Названия областей	Архангельская область		Вологодская область	Республика Коми	Санкт-Петербург	Ленинградская область		Мурманская область	Калининградская область	Новгородская область	Псковская область	Республика Карелия		
		А	Б	А	А	Б	А	Б	Б	Б	А	А	А		
D600	Коэффициент теплопроводности кладки, λ , Вт/м·°С	0,17	0,19	0,17	0,17	0,19	0,17	0,19	0,19	0,19	0,17	0,17	0,19		
	Толщина стены, δ , м	max		0,65	0,73	0,56	0,70	0,55	0,52	0,58	0,70	0,48	0,50	0,49	0,65
		min		0,35	0,37	0,32	0,38	0,34	0,32	0,35	0,39	0,29	0,30	0,3	0,37
D500	Коэффициент теплопроводности кладки, λ , Вт/м·°С	0,15	0,17	0,15	0,15	0,17	0,15	0,17	0,17	0,17	0,15	0,15	0,17		
	Толщина стены, δ , м	max		0,57	0,65	0,50	0,61	0,5	0,46	0,52	0,63	0,43	0,44	0,43	0,58
		min		0,3	0,35	0,29	0,33	0,3	0,28	0,32	0,35	0,26	0,26	0,26	0,33
D400	Коэффициент теплопроводности кладки, λ , Вт/м·°С	0,13	0,15	0,13	0,3	0,15	0,13	0,15	0,15	0,15	0,15	0,13	0,13	0,15	
	Толщина стены, δ , м	max		0,5	0,57	0,43	0,53	0,44	0,40	0,46	0,55	0,38	0,38	0,37	0,51
		min		0,26	0,30	0,25	0,29	0,23	0,24	0,28	0,31	0,23	0,23	0,23	0,29

Таблица 1.11 - Нормируемая максимальная и минимальная толщина стен из автоклавных газобетонных блоков при кладке стен на растворе $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$.

Марка блоков по плотности	Названия областей	Архангельская область		Вологодская область	Республика Коми	Санкт-Петербург	Ленинградская область		Мурманская область	Калининградская область	Новгородская область	Псковская область	Республика Карелия		
		А	Б	А	А	Б	А	Б	Б	Б	А	А	А		
D600	Коэффициент теплопроводности кладки, λ , Вт/м·°С	0,23	0,25	0,23	0,23	0,25	0,23	0,25	0,25	0,25	0,23	0,23	0,23		
	Толщина стены, δ , м	max		0,88	0,25	0,76	0,94	0,73	0,70	0,77	0,88	0,63	0,68	0,66	0,79
		min		0,46	0,51	0,44	0,48	0,45	0,43	0,46	0,51	0,38	0,41	0,40	0,45
D500	Коэффициент теплопроводности кладки, λ , Вт/м·°С	0,21	0,23	0,21	0,21	0,23	0,21	0,23	0,23	0,23	0,23	0,21	0,21	0,21	
	Толщина стены, δ , м	max		0,8	0,88	0,7	0,86	0,67	0,61	0,70	0,81	0,58	0,62	0,60	0,72
		min		0,42	0,46	0,4	0,44	0,41	0,39	0,42	0,47	0,33	0,38	0,36	0,41
D400	Коэффициент теплопроводности кладки, λ , Вт/м·°С	0,19	0,21	0,19	0,19	0,21	0,19	0,21	0,21	0,21	0,21	0,14	0,19	0,19	
	Толщина стены, δ , м	max		0,73	0,8	0,63	0,78	0,61	0,58	0,64	0,74	0,53	0,56	0,54	0,65
		min		0,38	0,42	0,36	0,40	0,38	0,35	0,38	0,43	0,32	0,35	0,30	0,37