

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА НА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЮ ГАЗОБЕТОННЫХ СТЕН ЖИЛЫХ ДОМОВ НА ПРИМЕРЕ СЕРИИ 600.11

В.П. Вылегжанин, к.т.н., директор, Центр ячеистых бетонов

В.А. Пинскер, к.т.н., научный руководитель, Центр ячеистых бетонов

1. Расчетные и фактические величины внутренних температур в домах с учетом относительной влажности воздуха

Расчетные температуры, относительная влажность и температура точки росы внутреннего воздуха помещений для теплотехнического расчета ограждающих конструкций приведены в таблице 1.1

Таблица 1.1 Расчетные на конденсат показатели помещений.

Помещения	Температура воздуха внутри помещений здания $t_{int}, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность воздуха внутри помещений здания $\phi_{int}, \%$	Температура точки росы $t_a, ^\circ\text{C}$
Жилые и учебные помещения	20	55	10,7
Лечебные и в интернатах	21	55	11,6
Детские (для дошкольников)	22	55	12,6
Кухни	20	60	12
Ванные комнаты	25	60	16,7
Бассейны	27	67	20,4

Натурные обследования эксплуатируемого дома серии 600.11 на ул. Замшина, проведенные СПбЗНИИПИ в 1995-1998гг., показали, что за отопительный период относительная влажность воздуха на кухне не достигала 45 %, а в жилой комнате 35 %. Ванные комнаты и туалеты к наружным стенам не прилегают. Для $\phi_{int}=45\%$ температуры точек росы при 20, 21 и 22 °C соответственно равны 7,7; 8,6 и 9,5 °C, а при 40 %: 6; 6,9 и 7,7 °C.

1.1. Расчет на исключение конденсации паров

Подчеркнем, что расчет производится на расчетную температуру наружного воздуха $t_{ext}=-26^\circ\text{C}$, которая равна средней температуры самой холодной пятидневки из 5 предшествующих лет с обеспеченностью 0,92, т.е. превышение мороза на 4-6 °C возможно только в 8 зимах из 100 в течение 5 суток. В этот период возможна конденсация паров на комнатной поверхности наружной стены, если там температуры снизилось до точки росы. На оконных стеклах такой конденсат ("морозные узоры") возникает уже при температурах минус 5-10 °C. Отметим, что самыми холодными месяцами, например, в Санкт-Петербурге, являются январь и февраль со среднемесячной температурой -7,8 °C. Следовательно, если на стенах в самую "лютую" пятидневку и образуется конденсат, в последующие дни он испарится, не увлажнив газобетон.

Тем не менее, подсчитаем, какая должна быть толщина стены из газобетона D600, исключающая конденсат.

Расчет производится по формуле, полученной из зависимостей, приведенных в СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий" и СП 23-101-2004 "Проектирование тепловой защиты

$$\delta = \left[\frac{n(t_{int} - t_{ext})}{(t_{int} - t_a)\alpha_{int}} - R_{si} - R_{se} \right] \cdot \lambda \quad (1.1)$$

зданий":
 где n - коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху, равный в нашем случае 1;
 t_{int} - расчетная комнатная температура (таблица 1);
 t_{ext} - расчетная зимняя температура;
 t_a - температура точек росы;
 α_{int} - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены, принимаемый в нашем случае 8,7, Вт/м²·°C;

$$R_{si} = 1/\alpha_{int};$$

$$R_{se} = 1/\alpha_{ext}, \quad \alpha_{ext} - \text{коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены для условий холодного периода, принимаемый равным } 23 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{°C}.$$

λ - расчетный коэффициент теплопроводности газобетона в состоянии эксплуатационной влажности, принимаемый, согласно нашим исследованиям по домам серии 600.11, с надежностью 92 % равным 0,19 Вт/м·°C.

После подстановки указанных значений в формулу 1.1 получим:

$$\delta = \left[\frac{(t_{\text{int}} + 26)}{(t_{\text{int}} - t_{\alpha})8,7} - 0,158 \right] \cdot 0,19 \quad (1.2)$$

Соответствующие толщины стен приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Толщина стен из газобетона D600, начиная с которой конденсация паров (в самую холодную пятидневку самого холодного года из 5 предшествующих лет в Санкт-Петербурге) невозможна.

Помещения	Температура воздуха внутри помещений здания $t_{\text{int}}, ^\circ\text{C}$	Температура точки росы $t_a, ^\circ\text{C}$	Толщина газобетонных стен D600, δ , мм
Жилые и учебные помещения	20	10,7	78
Лечебные и в интернатах	21	11,6	80
Детские (для дошкольников)	22	12,6	82
Кухни	20	12	96
Ванные комнаты	25	16,7	105
Бассейны	27	20,4	146

Из таблицы 1.2 видно, что для жилых, детских и лечебных помещений толщина стен из газобетона D600 в 8 см гарантирует от образования конденсата даже в самый холодный период, тем более что относительная влажность внутреннего воздуха зимой никогда не достигает 55 %.

Рассмотрим то же самое для Нового Уренгоя, куда поставлялись дома производства ДСК-3, где расчетная зимняя температура составляет -46°C , а количество градусо-суток относительного периода D_d для

детских помещений $D_d = (t_{\text{int}} - t_{\text{kt}})z_{\text{kt}} = (22 + 11,6)304 = 10275$ градусо·суток.
 Формула 1.1 тогда примет вид

$$\delta = \left[\frac{(t_{\text{int}} + 46)}{(t_{\text{int}} - t_{\alpha})8,7} - 0,158 \right] \cdot 0,19 \quad (1.3)$$

Соответствующие толщины приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Толщина стен из газобетона D600, исключающая конденсат, для Нового Уренгоя

Помещения	Температура воздуха внутри помещений здания $t_{\text{int}}, ^\circ\text{C}$	Температура точки росы $t_a, ^\circ\text{C}$	Толщина газобетонных стен D600, δ , мм
Жилые и учебные помещения	20	10,7	125
Лечебные и в интернатах	21	11,6	126
Детские (для дошкольников)	22	12,6	128
Кухни	20	12	150
Ванные комнаты	25	16,7	157
Бассейны	27	20,4	212

Из таблицы 1.3 следует, что даже для самой суровой строительно-климатической зоны с количеством градусо-суток более 10000 защита от конденсата обеспечена при толщине газобетонной стены 13 см, а для бассейнов 22 см.

Действительно, при обследовании нами очистных сооружений в Новом Уренгое при наружной температуре -50°C , внутренней $+27^\circ\text{C}$ и относительной влажности 97 % на внутренних поверхностях газобетонных стен полосовой разрезки толщиной 26 см конденсата не обнаружено.

1.2. Расчет на температурный перепад с традиционной комфортностью

Здания с традиционной комфортностью проектировались до 1998 г. по СНиП II-3-79** (Строительная теплотехника. Нормы проектирования. М, ЦИТП, 1986) из расчета на перепад между температурой внутренней поверхности наружной стены и температурой воздуха жилого помещения в самые сильные морозы (для Санкт-Петербурга -26°C), не превышающий $\Delta t^{\text{н}} = 6^\circ\text{C}$. Требуемое сопротивление теплопередаче определяется по формуле

$$R_0^{\text{нр}} = \frac{n(t_e - t_n)}{\Delta t^{\text{н}} \alpha_e} \quad (1.4)$$

расчетное

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_e} + R_k + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (1.5)$$

термическое

$$R_k = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (1.6)$$

где $t_e = t_{int}$, $t_n = t_{ext}$, $\alpha_e = \alpha_{int}$, $\alpha_n = \alpha_{ext}$, $\Delta t^N = \Delta t_n$ формуле (1.1)

Подставляя указанные обозначения и величины аналогично формуле (1.2), из зависимостей (1.4), (1.5) и (1.6) получим

$$\delta = \left[\frac{(t_{int} + 26)}{6 \cdot 8,7} - 0,158 \right] \cdot 0,19 \quad (1.7)$$

Соответствующие толщины стен приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Толщина стен из газобетона D600 для Санкт-Петербурга из условий нормальной комфортности (до 1998 г.)

Помещения	Температура воздуха внутри помещений здания $t_{int}, ^\circ\text{C}$	Температура точки росы $t_a, ^\circ\text{C}$	Толщина газобетонных стен D600, δ , мм
Жилые и учебные помещения	20	6	137
Лечебные и в интернатах	21	6	141
Детские (для дошкольников)	22	6	146
Кухни	20	6	137
Ванные комнаты	25	6	156
Бассейны	27	6	162

Из таблицы 1.4 следует, что толщина наружных газобетонных стен в 16 см удовлетворяет по условиям нормальной комфортности требованиям всех помещений Санкт-Петербургских домов. Отсюда понятно, почему в домах серии ЛГ600 простенки толщиной 16 см не вызывают нареканий жильцов. Равные по сопротивлению теплопередаче стена из сплошного глиняного кирпича на обычном растворе ($\lambda=0,81$ Вт/м $^\circ\text{C}$) будет иметь толщину

$$\delta_{\text{кирп}} = \frac{0,16}{0,19} \cdot 0,81 = 0,682 \text{ м,}$$

что соответствует традиционной для Санкт-Петербурга кирпичной кладке в 2,5 кирпича, из которой построено большинство городских зданий до 1998 г. включительно. Необходимая толщина газобетонных стен для условий Нового Уренгоя с $t_{ext} = -46^\circ\text{C}$ представлена в таблице 1.5.

Таблица 1.5 - Толщина стен из газобетона D600 для условий Нового Уренгоя и требований нормальной комфортности

Помещения	Температура воздуха внутри помещений здания $t_{int}, ^\circ\text{C}$	Температура точки росы $t_a, ^\circ\text{C}$	Толщина газобетонных стен D600, δ , мм
Жилые и учебные помещения	20	6	210
Лечебные и в интернатах	21	6	214
Детские (для дошкольников)	22	6	218
Кухни	20	6	210
Ванные комнаты	25	6	228
Бассейны	27	6	236

Таблица 1.5 свидетельствует о том, что традиционные для ДСК-3 толщины газобетонных панелей 24 см достаточны даже для Нового Уренгоя по действующим в России более 100 лет гигиеническим нормам.

1.3. Расчет на температурный перепад с повышенной комфортностью

Откорректированные в 1998 г. нормы СНиП II-3-79* ("Строительная теплотехника", Госстрой России, М., 1998) повысили комфортность жилых, детских и лечебных зданий, снизив температурный перепад на два градуса: $\Delta t_n = 4^\circ\text{C}$.

Толщина стен для Санкт-Петербурга определяется по формуле

$$\delta = \left[\frac{(t_{int} + 26)}{4 \cdot 8,7} - 0,158 \right] \cdot 0,19 \quad (1.8)$$

В таблице 1.6 приведены толщины панелей стен из автоклавных газобетонных панелей производства ДСК-3 марки по плотности D600 для климатических условий Санкт-Петербурга и Ленинградской области, где построены дома серии 600.11 высотой от 4 до 15 этажей.

Таблица 1.6 - Толщина стен из газобетона D600 для условий Санкт-Петербурга и требований повышенной комфортности

Помещения	Температура воздуха внутри помещений здания $t_{int}, ^\circ\text{C}$	Температура точки росы $t_a, ^\circ\text{C}$	Толщина газобетонных стен D600, δ , мм
Жилые и учебные помещения	20	4	221
Лечебные и в интернатах	21	4	227
Детские (для дошкольников)	22	4	232
Кухни	20	4	221
Ванные комнаты	25	4	248
Бассейны	27	4	259

Из таблицы 1.6 следует, что традиционная для ДСК-3 толщина панелей 24 см удовлетворяет требованиям повышенной комфортности в Санкт-Петербурге при марке по плотности автоклавного газобетона D600.

Определим толщину стен повышенной комфортности для климатических условий Нового Уренгоя ($t_{ext} = -46^\circ\text{C}$):

$$\delta = \left[\frac{(t_{int} + 46)}{4 \cdot 8,7} - 0,158 \right] \cdot 0,19 \quad (1.9)$$

Результаты приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 - Толщина стен из газобетона D600 для условий Нового Уренгоя и требований повышенной комфортности

Помещения	Температура воздуха внутри помещений здания $t_{int}, ^\circ\text{C}$	Температура точки росы $t_a, ^\circ\text{C}$	Толщина газобетонных стен D600, δ , мм
Жилые и учебные помещения	20	4	330
Лечебные и в интернатах	21	4	336
Детские (для дошкольников)	22	4	341
Кухни	20	4	330
Ванные комнаты	25	4	358
Бассейны	27	4	369

Таблица 1.7 свидетельствует о том, что даже для суровых условий Нового Уренгоя толщина стен из газобетона D600, требуемая из условий повышенной комфортности, находится в 3-7 %-ной области отклонений от стандартной для ДСК-3 величины в 32 см, что несущественно, тем более без учета наружной и внутренней отделки.

Требуемое в этом случае сопротивление теплопередаче стен, отвечающих санитарно-гигиеническим и комфортным условиям (п. 2.2*СНиП II-3-79*, 1998г.) равно

$$R_0^{треб} = \frac{n(t_e - t_n)}{\Delta t \cdot \alpha_e} = \frac{1(20 + 46)}{4 \cdot 8,7} = 1,9 \quad \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт},$$

что соответствует стене из обычной кирпичной кладки толщиной 1,41 м, т.е. 5 1/2 кирпича, каковых в России не строилось за исключением Петропавловской крепости (да и там не из условий комфортности узников).

Но и этого современным борцам за экономию энергии из НИИСФ оказалось недостаточным. Согласно таблице 16* указанных норм требуемое сопротивление теплопередаче стен для градусо-суток Нового Уренгоя составляет $5 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$, что соответствует кирпичной стене толщиной 4 м. Это уже на уровне Великой Китайской стены, которая строилась не из условий энергосбережения.

Такое безумное предложение могло придти в голову (при поддержке безграмотных или продажных чиновников) только диверсантам, желавшим разрушить все отечественное домостроение, исключить российские строительные материалы, заменив их дорогой, токсичной и недолговечной теплоизоляцией, импортируемой из Европы, где она запрещается по указанным причинам. В результате в стране закрылось

500 домостроительных комбинатов, назрел жесточайший жилищный кризис, и цены на недвижимость превысили американские, хотя зарплаты в России на порядок меньше, чем в США.

2. Расчет расхода тепловой энергии за отопительный период в жилых зданиях серии 600.11

2.1. Основные исходные положения при оценке энергоэффективности жилых зданий

Расход энергии на отопление зданий зависит от многих факторов. Помимо сопротивления теплопередаче глухой части (простенков и поясов) наружных стен (этажности, ширины корпуса, проемности, компактности, теплоизолирующих показателей крыши и подвала, вентиляции и т.д.) в новых нормативных документах СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий" и СП 23-101-2004 "Проектирование тепловой защиты зданий" установлена методика расчета удельных теплотерь (или, что то же, удельного теплоспотребления на 1 м²общей площади). Теплоспотребление измеряется в килоджоулях. Заметим, что один килоджоуль эквивалентен 34 миллиграммам условного топлива (каменного угля), исходя из текущей стоимости которого можно оценить эффективность утолщения стен.

По энергетической эффективности жилые здания подразделяются на классы по величине K_{ϕ} отклонения расчетного (фактического) значения удельного расхода тепловой энергии на отопление q_h^{des} от нормативного q_h^{req}

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

Новые и реконструируемые здания подразделяются 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 q_h^{des} от q_h^{req} следует, что по расходу тепловой энергии здания нормального класса С могут отличаться от зданий класс А более чем в 2 раза. При нецентрализованном отоплении потребитель сам может решать экономичность того или иного решения. В нашем случае теплозащита должна обеспечивать нормальный класс энергетической эффективности (С) по СНиП 23-02.

2.2. Оценка энергоэффективности 5-, 10-, 19-этажных зданий серии 600.11 по теплотерям и выбор толщины стены при строительстве в различных регионах РФ

Расчет теплотерь 5-, 9-, 10-этажных домов серии 600.11 выполнялся по методике, изложенной в СНиП 23-02.

Геометрические размеры этих домов приняты на основании исходных данных действующих проектов и приведены в таблице 2.1 (СТО 501-52-01-2007 ч.И).

Наружные панели выполнены из газобетона имеющего марку по плотности D600, толщину 0,24; 0,32 м.

Расчет выполнялся для районов РФ с градусо-сутками отопительного периода от 2000 до 10000 (СНиП 23-02).

Нормируемые и расчетные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий R_{req} для различных регионов РФ приведены в таблице 2.2.

Сопротивление теплопередаче газобетонных панелей, приведенные в таблице 2.2, приняты при расчетной равновесной влажности газобетона для зоны А - 5 %, В - 6 %: $\lambda=0,17$ и $\lambda=0,19$ Вт/м·°С соответственно на основании экспериментальных исследований. Коэффициент теплотехнической однородности принят $\gamma=0,95$.

При расчете удельного расхода тепловой энергии q_h^{des} не учитывались теплосотступления Q_s через окна от солнечной радиации в течение отопительного периода (в запас расхода тепловой энергии), т.к. они должны рассчитываться по месту: они могут уменьшить общий удельный расход тепловой энергии для северных регионов на 5-7 %, для южных на 10-14 %.

Расчетные удельные расходы тепловой энергии q_h^{des} на отопление 5-, 10-, 19-этажных зданий, расположенных в рассматриваемых регионах РФ, приведены в таблице 2.3 (СТО 501-52-01-2007 ч.И).

Из таблицы 2.3 следует, что в 5-,10-, 19-этажных домах при толщине наружных стен 0,32 м расчетные удельные расходы тепловой энергии q_h^{des} меньше нормируемых q_h^{req} для всех климатических зон,

включая зоны с D_d 6000÷10000 градусо-суток отопительного периода, для которых принимаемые расчетные сопротивления теплопередаче стен $R_w < R_{min}$ - нормативных.

Полученные расчетные отклонения q_h^{des} от нормативных q_h^{req} (таблица 2.3 СТО 501-52-01-2007 ч.II) позволяют отнести 5-и, 10-этажные дома к классу С (нормальные) для всех климатических зон; 19-этажные дома - к классу А (высокий) для зон с $D_d=2000÷4000$ °С и к классу С (нормальный) с $D_d=4000÷10000$ °С.

Жилые 5-, 10-, 19-этажные здания серии 600.11 с наружными стенами из газобетонных панелей D600 толщиной 0,32 м для всех рассматриваемых регионов России удовлетворяют нормам по тепловой защите, установленным СНиП 23-02-2003 (п. 5.1. б, в), т.к. выполнены требования по этим пунктам по следующим показателям: - б) санитарно-гигиенические - обеспечены нормируемый перепад между температурами внутреннего воздуха и внутренней поверхности наружной стены; - в) удельный расход тепловой энергии на отопление здания в отопительный период не превышает нормируемый.

2.3. Пути снижения теплопотерь в домах без утолщения наружных газобетонных стен

На наружные стены всех рассматриваемых зданий серии 600.11 приходится $\approx 20÷25$ % общих теплопотерь. На окна, площадь которых в 4-5 раз меньше, чем площадь наружных стен, чаще всего, приходится более 25 % общих теплопотерь. Поэтому одним из основных путей снижения теплопотерь домов является установка окон с более высоким приведенным сопротивлением теплопередаче. Другие пути снижения теплопотерь можно получить путем проведения следующих мероприятий:

1. Уменьшением проемности зданий.
2. Наклейка на стекла прозрачной теплоотражающей пленки.
3. Уменьшение компактности зданий.
4. Увеличение ширины корпуса.
5. Уменьшение количества выступов, западов, ризалитов, эркеров и т.д.
6. Утепление подвалов и чердаков газобетоном.
7. Устройство тепловых завес у входных дверей.
8. Рекуперация отходящего тепла.
9. Совершенствование приточно-вытяжной вентиляции.
10. Применение теплосберегающих жалюзи.
11. Строительство "умных" домов с программным регулированием теплового режима всех помещений квартиры.
12. Установка солнечных батарей, аккумулирующих внешнее тепло для потребительских целей (подогрев, охлаждение, кондиционирование).

Выводы

1. Газобетонные стены производства ДСК-3 исключают возможность конденсации паров даже в самые холодные сутки не только в Санкт-Петербурге, но и в Новом Уренгое.
2. Газобетонные стены ДСК-3 отвечают уровню нормальной комфортности.
3. Газобетонные стены ДСК-3 толщиной 320 мм марки по плотности D600 соответствуют требованиям повышенной комфортности даже для Нового Уренгоя.
4. Жилые дома серии 600.11 с наружными стенами из газобетона этажностью от 5 до 19 соответствуют (с запасом) требованиям СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий" (Госстрой России, 2004г.) по энергосбережению не только для Санкт-Петербурга, но и для районов Крайнего Севера с количеством градусо-суток отопительного периода 10000.

*Из сборника докладов конференции
"Ячеистые бетоны в современном строительстве-2008"*