УДК 69.658.26

Д.В. ИВАНОВ, студент гр. ПБ 191 (БГТУ им. В.Г. Шухова)
Научный руководитель А.С. СЕМИНЕНКО, к.т.н., доцент (БГТУ им. В.Г. Шухова)
г. Белгород

СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОПОТЕРЬ ОТАПЛИВАЕМОГО ЗДАНИЯ

Экономия теплоты – одна из важнейших статей экономии энергоресурсов. До 1995 г. нормативный уровень теплозащиты жилых и общественных зданий России обеспечивал лишь соблюдение санитарных требований внутри отапливаемых помещений при минимальном тепловом сопротивлении наружных ограждений ($R_{ст}$ = 0,9–1,2 м^2×°С/Вт).

Для сокращения расходов ресурсов СП 50.13330.2012 [4] потребовал увеличить теплозащиту наружных ограждений жилых зданий в 2,5 и более раз. Это позволило снизить суммарную расчетную тепловую нагрузку отопления и вентиляции, например, для пятиэтажного жилого здания на 80 квартир, в южном исполнении – на 37 %, в северном исполнении – на 55 %.

Поскольку проблема экономии топлива в жилищно-коммунальном хозяйстве остается по-прежнему актуальной, рассмотрим общие теплотехнические закономерности, описывающие теплопотери здания, и попытаемся установить наиболее рациональные пути их сокращения. Жилые здания отличаются разнообразием размеров, геометрических форм, архитектурных стилей и материалов, использованных для сооружения.

Процесс утери теплоты из отапливаемых помещений в окружающую среду через стены, окна и наружные покрытия/перекрытия описывается формулами теплопередачи [1].

$$Q = \Delta t(\Sigma A_i/R_i) = K_{ср}\Delta t A_{нар}, \quad (1)$$

где Δt – перепад температуры воздуха внутри и снаружи здания, °С; A_i, R_i – площадь поверхности строительных элементов наружного ограждения здания, м^2, и их сопротивление теплопередаче, м^2×°С/Вт; $A_{нар} = \Sigma A_i$ – площадь поверхности наружной оболочки здания, м^2; $K_{ср}$ – средний коэффициент теплопередачи через наружную оболочку здания, Вт/(м^2×°С).

Установлено, что средний безразмерный нормативный коэффициент теплопередачи жилых зданий простой прямоугольной формы («спичечный коробок») высотой от 1 до 16 этажей, в зависимости от уровня теплозащиты согласно СП 50.13330.2012 [4] описывается формулой

$$\overline{K} = K_{ср}R_{ст} = \overline{K}_{ст} + \overline{K}_{пп} + \overline{K}_{оз} = a_{ст}(1 - \omega) + 0{,}714a_{пп} + 6{,}25\omega a_{ст}, \quad (2)$$

Где $\overline{K}_{ст}$, $\overline{K}_{пп}$, $\overline{K}_{оз}$ – безразмерные коэффициенты теплопередачи стен, покрытий/перекрытий, оконных закрытий, $a_{ст} = A_{ст}/A_{нар}$ – доля площади стен в общей площади наружных ограждений; $a_{пп} = A_{пп}/A_{нар}$ – доля покрытий/перекрытий в общей площади наружных ограждений; $\omega = A_{ос}/A_{ст}$ – доля площади остекления фасадов здания.

Конкретную величину сопротивления теплопередаче стен жилого здания выбирают в зависимости от градусосуток отопительного периода отопительного периода года D_d, °С×сут.

$$R_{ст} = 0{,}35D_d \times 10^{-3} + 1{,}4. \quad (3)$$

Исследуем влияние геометрических размеров здания на его теплотехнические показатели. Рассмотрим ряд зданий простой прямоугольной формы с числом квартир от 1 до 256, числом этажей z = 1, 2, 4, 8, 16. объем зданий $V = B \times L \times H$ (м^3) растет с шагом в четыре раза, причем для повышения плотности жилой застройки увеличение высоты H опережает рост длины здания L.

Геометрические показатели зданий описывают формулы:

– площадь отапливаемых помещений

$$A_о = BLz = V/h; \quad (4)$$

– площадь наружных ограждений

$$A_{нар} = A_{ст} + A_{пп} = 2(LB + BH + HL); \quad (5)$$

– величина охлаждающих здание поверхностей на единицу отапливаемой площади

$$\varphi = A_{нар}/A_о = 2h(L^{-1} + B^{-1} + H^{-1}); \quad (6)$$

– доля площади перекрытий и стен в площади наружных ограждений

$$a_{пп} = A_{пп}/A_{нар} = (1 + H/L + H/B)^{-1}; \quad (7)$$

где $a_{ст} = 1 - a_{пп}$,

$z = H/h$ – число этажей здания высотой по h.

Данные из таблицы 1 данные свидетельствуют о резкой трансформации геометрических характеристик жилых зданий при увеличении размеров. Значительное уменьшение размеров охлаждающей оболочки на единицу отапливаемой площади обеспечивает высокую тепловую эффективность крупных зданий, несмотря на увеличение доли поверхности ограждающих

конструкций с более низким теплотехническим качеством.

Таблица 1

Изменение геометрических характеристик жилого дома при увеличении его размеров [5]

Характеристика здания	Число этажей				
	1	2	4	8	16
$A_о$, м^2	100	400	1600	6400	25600
Высота H, м Ширина B, м Длина L, м	3 8 12,5	6 10 20	12 12 33	24 14 57	48 16 100
$\phi = A_{нар}/A_о$	3,23	1,92	1,18	0,78	0,54
$a_{пп} = A_{пп}/A_{нар}$ $a_{ст} = A_{ст}/A_{нар}$ $a_{ок} = A_{ок}/A_о$ $A_{ок}/A_о = \omega$	0,619 0,381 0,030 0,080	0,521 0,474 0,047 0,100	0,424 0,576 0,070 0,120	0,319 0,681 0,096 0,140	0,222 0,778 0,120 0,160

Следует отметить, что использование кубической формы для наиболее энергорасточительных малоквартирных зданий позволяет сократить теплопотери на 10–20 % за счет снижения доли наружной поверхности ϕ.

Укрупнение жилых зданий за счет уменьшения их числа является эффективным способом теплосбережения. Как видно из таблицы 2, одно здание с жилой площадью 400 м^2 имеет в шесть раз меньше площадь наружных ограждений, чем четыре здания с жилой площадью по 100 м^2 каждое. Одно четырехэтажное здание площадью 1600 м^2 имеет в восемь раз меньше площадь наружных ограждений, чем четыре двухэтажных здания площадью по 400 м^2. С учетом возрастания среднего коэффициента теплопередачи теплопотери через ограждения снизятся более чем в пять раз.

Значения среднего коэффициента теплопередачи для указанного ряда жилых зданий (формула (2)) и составляющих его величин $\overline{K}_{ст}$, $\overline{K}_{пп}$, $\overline{K}_{оз}$ приведены в таблице 2.

Таблица 2

Изменение структуры и величины теплопотерь сквозь различные ограждения жилого дома [5]

Коэфициент теплопередачи	Число этажей				
	1	2	4	8	16
$\overline{K}_{ст}$ $\overline{K}_{пп}$ $\overline{K}_{ок}$	0,350 0,442 0,154	0,474 0,375 0,293	0,507 0,305 0,430	0,580 0,230 0,620	0,650 0,160 0,750
$\overline{K}_{ср} \rightarrow A_{нар}$	0,90 0,80	0,98 0,95	1,24 1,30	1,43 1,34	1,59 1,60
$\overline{K}_{ср}\ \phi \rightarrow A_о$	2,70	1,90	1,50	1,30	0,90

Увеличение термического сопротивления наружных ограждений $R_{ст}$ в три и пять раз вызовет пропорциональное снижение среднего коэффициента

теплопередачи $K_{ср} = \overline{K}_{ср}\phi/R_{ст}$, Вт/(м^2×°С), но лишь частично скажется на суммарных теплопотерях жилого здания, значительную долю которых составляют вентиляционные потери.

Условный вентиляционный коэффициент теплопередачи при норме вентиляционного потока воздуха L = 30 м^3/(ч×чел.) и заселенности общей площади здания f = 20 м^2/чел. составляет величину

$$K_{вен} = 0{,}28Lc_p\,\rho\,/f = 0{,}28 \times 30 \times 1 \times 1{,}3/20 = 0{,}54 \text{ Вт/(м}^2\times^\circ\text{С)}. \quad (8)$$

Исследуем, как повлияют вентиляционные теплопотери на суммарный коэффициент теплопередачи жилого здания при различных уровнях его теплоизоляции $R_{ст}$ и коэффициенте регенерации теплоты r в системе вентиляции: [2]

$$K_{сум} = \overline{K}_{ср}\phi/R_{ст} + 0{,}54 \times (1 - r). \quad (9)$$

Результаты расчета суммарного коэффициента теплопередачи жилых зданий с числом этажей 3, 5, 9 при сопротивлении теплопередаче $R_{ст}$ = 1; 3 и 5 м^2×°С/Вт и с долей рекуперации теплоты в системе вентиляции r = 0; 0,5 и 0,66 приведены в таблице 3.

Таблица 3

Влияние сопротивления теплопередаче ограждений и рекуперации теплоты в системе вентиляции на теплопотери жилых зданий [5]

Показатель	Число этажей		
	3	5	9
Размер здания H×L×B, м	9×40×10	15×60×12	27×30×14
Общая жилая площадь $A_о$, м^2	1200	3600	10400
Относительная величина площади наружных ограждений ϕ	1,32	0,96	0,72
Средний безразмерный коэффициент теплопередачи Kсрϕ, отнесенный к отапливаемой площади здания	1,54	1,29	1,07
Вентиляционный коэффициент теплопередачи $K_{вен}$, Вт/(м^2×°С), при:			
r = 0	0,54	0,54	0,54
r = 0,5	0,27	027	0,27
r = 0,66	0,18	0,18	0,18
Суммарный коэффициент теплопередачи жилого здания $K_{сум}$, Вт/(м^2×°С), при:			
$R_{ст}$ = 1 м^2×°С/Вт, r = 0	2,08	1,83	1,61
$R_{ст}$ = 3 м^2×°С/Вт, r = 0	1,05	0,97	0,90
$R_{ст}$ = 5 м^2×°С/Вт, r = 0	0,85	0,80	0,76
$R_{ст}$ = 5 м^2×°С/Вт, r = 0,5	0,58	0,53	0,49
$R_{ст}$ = 5 м^2×°С/Вт, r = 0,66	0,49	0,44	0,40

Расчеты показали, что увеличение термического сопротивления теплопередаче в три раза по сравнению с исходным значением ($R_{ст}$ = 1 м^2×°С/Вт), обязательным для зданий, сооруженных до 1995 г., вызывает снижение суммарного коэффициента в два раза для жилых зданий высотой 3, 5 и 9 этажей.

Однако дальнейшее повышение теплозащиты этих строений за счет увеличения сопротивления теплопередаче еще на две позиции – до

$R_{ст}$ = 5 м^2×°С/Вт – вызывает снижение суммарного коэффициента теплопередачи всего на 20 % из-за тормозящего влияния вентиляционного коэффициента теплопередачи.

Если при этом одновременно снизить вентиляционные теплопотери до соответствия показателю доли рекуперации теплоты, указанному в таблице 3, то суммарные теплопотери уменьшатся на 45–60 %, т. е. экономия теплоты увеличится в 2–3 раза. При снижении теплопотерь от вентиляции в три раза, суммарные теплопотери здания снова уменьшаются в два раза. Таким образом, повышение теплозащиты ($R_{ст}$) зданий от 3 до 5 м^2×°С/Вт дает наибольшие эффекты только при одновременном снижении вентиляционных теплопотерь.

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод: анализ теплотехнических показателей жилых зданий позволяет сделать ряд общих рекомендаций, направленных на снижение нормативных теплопотерь зданий в 1,5–2,5 раза. Экономии теплоты способствуют:

– совершенствование системы вентиляции жилых зданий;

– укрупнение размеров зданий за счет уменьшения их количества;

– сверхнормативное повышение термического сопротивления наружных ограждений коттеджей и малоквартирных зданий;

– кубическая, цилиндрическая или купольная формы небольших зданий высотой в 2–3 этажа;

– совместное использование указанных способов экономии теплоты.

Список литературы:

1. В.Е. Минин, В.К. Аверьянов, Е.А. Белицкий и др. / Эффективные системы отопления зданий; под общей ред. В.Е. Минина. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 216с.

2. И. В. Беляйкина и др. / Водяные тепловые сети: справ. пособие по проектированию; под ред. Н. К. Громова. М.: Энергоатомиздат, 1988. 376 с.

3. Е.Я. Соколов / Теплофикация и тепловые сети / 6-е изд. М.: Энергоиздат, 1982. 360 с.

4. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». (Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003)

Информация об авторах:

Иванов Дмитрий Викторович, студент гр. ПБ 191, БГТУ им. В.Г. Шухова, 308000, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 24, dmitriiivanov1999@yandex.com

Семиненко Артем Сергеевич, к.т.н., доцент, БГТУ им. В.Г. Шухова, 308000, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 24, dmitriiivanov1999@yandex.com