

УДК 628.83

Кузьмин Сергей Иванович,
к.т.н., доцент, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: sergey.kuzmin@mail.ru

Затеева Анастасия Владимировна,
магистрант кафедры «Промышленное и гражданское строительство»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: pgs@angtu.ruru

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ НА РАСЧЕТНУЮ МОЩНОСТЬ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Kuzmin S.I., Zateeva A.V.

IMPACT OF RESIDENTIAL BUILDING PARAMETERS ON THE ESTIMATED POWER OF THE HEATING SYSTEM

Аннотация. Энергосбережение при эксплуатации строительных объектов обычно заключается в нахождении способа снижения теплопотребления наиболее энергоемкой системы в здании – отопления. Для конкретных климатических условий затраты тепла на отопление определяются расчетной тепловой мощностью системы, определяемой по готовому архитектурно-строительному проекту. Такой подход, без предварительного анализа возможных последствий от принятия того или иного решения по объемно-планировочным параметрам здания, не гарантирует оптимального энергопотребления. Однако выбор оптимального варианта здания при заданных основных характеристиках (например – объёму) по традиционным методикам достаточно трудоёмок, а выводы не всегда очевидны и обоснованы. Поэтому представляется полезным разработка простой модели, связывающей основные параметры здания с расчетной мощностью системы отопления.

Ключевые слова: жилое здание, система отопления, энергосбережение.

Abstract. Energy saving in the operation of construction sites usually consists in finding a way to reduce heat consumption of the most energy-intensive system in the building - heating. For specific climatic conditions, the cost of heat for heating is determined by the estimated thermal capacity of the system, determined by the finished architectural and construction project. This approach, without first analyzing the possible consequences of making a decision on the volume and planning parameters of the building, does not guarantee optimal energy consumption. However, the choice of the optimal version of the building with the assigned basic characteristics (e.g. volume) according to traditional methods is quite time-consuming, and the conclusions are not always obvious and justified. Therefore, it is useful to develop a simple model linking the basic parameters of the building with the estimated capacity of the heating system.

Keywords: residential building, heating system, energy saving.

Тепловая мощность системы отопления определяется на заключительном этапе проектирования здания, когда уже сформированы объемно-планировочные параметры и принимается как некая очевидность, не подлежащая корректировке.

Расчетное теплопотребление системы отопления в основном определяется его теплопотерями, которые зависят от расчетных значений параметров наружного и внутреннего воздуха, объемно-планировочных и конструктивных решений здания и для жилых зданий дополнительно нагревом вентиляционного воздуха [1, 2]. Большое количество параметров, влияющих на эту функцию

и еще большее разнообразие вариантов в объемно-планировочных решениях и абсолютных размерах зданий, порождает сложность в поиске рациональных решений, способствующих минимизации теплопотребления. В настоящей работе проведена методика аналитического выражения параметра, характеризующего расчетную мощность отопления от объемно-планировочных и теплотехнических характеристик здания.

Приемы оценки и повышения эффективности энергосбережения зданий в основном сводятся к анализу влияния теплотехнических характеристик ограждений на трансмиссионные теплопотери и локальные затра-

ты на мероприятия по их реализации [3÷5] или оптимизации отдельных конструкций и систем в конкретных, и, как правило, уже существующих объектах [6, 7].

Как показывает анализ публикаций, существует пробел в комплексном рассмотрении вопроса снижения теплопотребления здания на основе взаимосвязи архитектурных, строительных, теплотехнических и экономических показателей. Отсутствие простой и понятной по внутренней структуре и достаточно универсальной модели объективной характеристики, определяющей оптимальное значение параметров, закладывающих основу и здания, и его энергоэффективности, не стимулирует архитекторов и проектировщиков прорабатывать этот вопрос.

Целью настоящей работы является разработка математической модели параметра, характеризующего расчетную мощность отопления через объемно-планировочные и теплотехнические характеристики здания, а также проведение анализа, показывающего влияние объемно-планировочных решений на уровень возможного теплопотребления.

В данной работе расчетная тепловая мощность системы отопления жилого здания принята как сумма трансмиссионных теплопотерь Q_{tr} , обусловленных процессом теплопередачи, и затратами тепла на нагрев вентиляционного воздуха:

$$Q_0 = Q_{tr} + Q_v \quad (1)$$

Объективной характеристикой тепловой эффективности здания является удельная величина теплопотерь q_0 , отнесенная к отапливаемому объему V и разности между расчетными температурами внутреннего t_e и наружного $t_{H.o}$ воздуха:

$$q_0 = \frac{Q_0}{V \cdot (t_e - t_{H.o})} = \frac{Q_{tr} + Q_v}{V \cdot (t_e - t_{H.o})} = q_{tr} + q_v, \quad (2)$$

где q_{tr} – удельная тепловая характеристика здания, соответственно трансмиссионная и вентиляционная, $Bm/m^3 \cdot ^\circ C$.

Трансмиссионная тепловая характеристика определяется из условия [2]:

$$q_0 = \frac{P}{S} \left[K_{cm} + \frac{A_o}{A_{cm}} \cdot (K_o - K_{cm}) \right] + \frac{1}{H} \cdot (0,9K_{nm} + 0,6K_{nl}) \quad (3)$$

где S , P , H – соответственно площадь (m^2), периметр (м) основания здания и высота отапливаемого объема, м; K_{cm} , K_o , K_{nm} и K_{nl} – коэффициент теплопередачи соответственно стены, остекления, пола и потолка, $Bm/m^2 \cdot ^\circ C$; A_o и A_{cm} – площадь соответ-

ственно остекления и вертикальных поверхностей здания, м.

Для здания, имеющего форму параллелепипеда, с отапливаемым объемом V и отношением сторон основания $b/a = n_b$ геометрические размеры представим следующим образом:

$$P = 2a(n_b + 1); \quad S = n_b a^2; \quad \frac{H}{a} = n_h; \\ V = a^3 n_b n_h; \quad \frac{1}{H} = \frac{(n_b n_h)^{\frac{1}{3}}}{n_h V^{\frac{1}{3}}}.$$

Коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций выразим через коэффициент теплопередачи стены: $\bar{K}_o = K_o / K_{cm}$; $\bar{K}_{nm} = K_{nm} / K_{cm}$; $\bar{K}_{nl} = K_{nl} / K_{cm}$, а площадь остекления через коэффициент остекления здания $\bar{A}_o = A_o / A_{cm}$. Тогда выражение (3) преобразуется к виду:

$$q_{tr} = \frac{K_{cm}}{V^{0,5}} \cdot \{ 2 \cdot (1 + n_b) \cdot (n_{эм} \cdot h_{эм})^{0,5} \cdot n_b^{-0,5} \cdot \\ [1 + \bar{A}_o \cdot (\bar{K}_o - 1)] + (0,9\bar{K}_{nm} + 0,6\bar{K}_{nl}) \cdot (n_{эм} \cdot h_{эм})^{-1} \cdot V^{0,5} \} \quad (4)$$

Вентиляционная составляющая тепловой мощности системы отопления определяется количеством воздуха L_v (m^3/c), поступающего путем инфильтрации в помещения здания и разностью между расчетными температурами внутреннего t_v и наружного $t_{H.o}$ воздуха:

$$Q_v = L_v \cdot c_v \cdot \rho_v \cdot (t_e - t_{H.o}) \quad (5)$$

где ρ_v и c_v – соответственно плотность (kg/m^3) и теплоемкость ($Dж/kg \cdot ^\circ C$) воздуха.

Учитывая, что современные конструкции переплетов остекления позволяют регулировать воздухопроницаемость оконных проемов, воздухообмен здания определим из условия нормативного показателя $L_{v,reg}$. В соответствии с санитарными нормами [8] в жилое помещение должно поступать $3 m^3/час$ наружного воздуха на $1 m^2$ его площади. Тогда выражение (5) можно представить в виде:

$$Q_v = L_{v,reg} \cdot A_{ж.о} \cdot c_v \cdot \rho_v \cdot (t_e - t_{H.o}) = \\ L_{v,reg} \cdot S \cdot k_{жс} \cdot n_{эм} \cdot c_v \cdot \rho_v \cdot (t_e - t_{H.o}) \quad (6)$$

где $k_{жс}$ – доля, занимаемая жилыми помещениями в площади одного этажа; $n_{эм}$ – количество этажей в здании.

Высоту отапливаемого объема здания представим кратной высоте одного этажа $h_{эм}$. Тогда имеем:

$$\begin{aligned}
 Q_v &= L_{v,reg} \cdot S \cdot k_{жс} \cdot n_{эм} \cdot c_v \cdot \rho_v \cdot (t_e - t_{H.o}) = \\
 &= L_{v,reg} \cdot S \cdot k_{жс} \frac{H}{h_{эм}} c_v \cdot \rho_v \cdot (t_e - t_{H.o}) = \quad (7) \\
 &= L_{v,reg} \cdot k_{жс} \frac{V}{h_{эм}} c_v \cdot \rho_v \cdot (t_e - t_{H.o})
 \end{aligned}$$

Учитывая, что плотность воздуха в диапазоне температур от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ изменяется не более чем на 3 % от плотности при $t_{H.o} = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\rho_{-30} = 1,42\text{ кг/м}^3$), уравнение для вентиляционной составляющей q_v удельной тепловой характеристики можно переписать как:

$$q_v = 1,19 \cdot \frac{k_{жс}}{h_{эм}} \quad (8)$$

С учетом приведенных соображений окончательно получим:

$$\begin{aligned}
 q_o &= \frac{K_{cm}}{V^{0,5}} \cdot \{2 \cdot (1 + n_b) \cdot (n_{эм} \cdot h_{эм})^{0,5} \cdot n_b^{-0,5} \cdot \\
 &\cdot [1 + \bar{A}_o \cdot (\bar{K}_o - 1)] + (0,9\bar{K}_{nm} + 0,6\bar{K}_{nl}) \cdot \\
 &\cdot (n_{эм} \cdot h_{эм})^{-1} \cdot V^{0,5}\} + 1,19 \cdot k_{жс} \cdot h_{эм}^{-1} \quad (9)
 \end{aligned}$$

Таким образом, полученное выражение (9) полностью отражает все характеристики здания и может быть использовано для решения поставленной задачи.

Для анализа влияния на удельную отопительную характеристику q_o объемно-планировочных параметров здания установим значения коэффициентов теплопередачи ограждающих конструкций на регламентируемом уровне [9]. Для наружных стен K_{cm} рекомендуется определять по выражению:

$$K_{cm} = 1 / (0,00035 \cdot T_{tr} + 1,4) \quad (10)$$

где T_{tr} – градусо-сутки отопительного периода, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{час}$:

$$T_{tr} = (t_e - t_{от}) \cdot \tau_{от} \quad (11)$$

где $t_{от}$ – расчетная температура наружного воздуха, средняя за отопительный период, $^{\circ}\text{C}$; $\tau_{от}$ – расчетный период отопительного периода, сутки.

Относительные коэффициенты теплопередачи перекрытия над подвалом \bar{K}_{nl} , чердачным перекрытием \bar{K}_{nm} и светопрозрачных ограждений \bar{K}_o соответственно определяются как:

$$\begin{aligned}
 \bar{K}_{nl} &= (0,016 \cdot \ln T_{tr} + 0,541); \\
 \bar{K}_{nm} &= (0,0096 \cdot \ln T_{tr} - 0,681) \quad (12)
 \end{aligned}$$

$$\bar{K}_o = (10^{-6} \cdot (0,0123 \cdot T_{tr}^2 + 241,6 \cdot T_{tr}) + 2,42$$

Анализ распределения T_{tr} от расчетной температуры наружного воздуха для отопления $t_{H.o}$ для населенных пунктов, характеризующих основные климатические зоны России [10] (рис. 1), показывает определенную зависимость между ними.

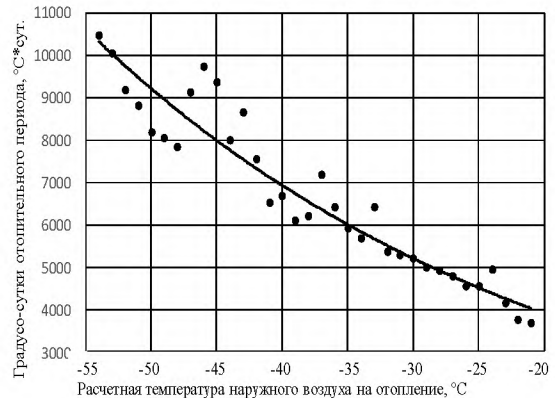


Рисунок 1 – Распределение градусо-суток отопительного периода от расчетной температуры наружного воздуха для отопления

Принимая характерную температуру внутреннего воздуха для жилых зданий на уровне $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, соответственно получим выражение для основного аргумента T_{tr} , определяющего величину коэффициентов теплопередачи от расчетной климатической характеристики $-t_{H.o}$:

$$T_{tr} = 2248 - 32 \cdot t_{H.o} + 2,253 \cdot t_{H.o}^2 \quad (15)$$

Результаты оценки влияния объемно-планировочного решения здания на удельную мощность системы отопления, проведенные с учетом уравнений (9, 10, 12, 15), приведены на графиках (рис. 2÷5).

Для многоэтажных зданий имеет место некоторый минимум удельной мощности отопления. Практически независимо от объема здания с переходом от одноэтажного к более высоким зданиям наблюдается сначала уменьшение, а затем рост q_o . При этом с увеличением объема этот минимум смещается в сторону повышения высоты и, начиная с некоторого объема, многоэтажные здания оказываются более эффективными даже по сравнению с одноэтажными (рис. 2 для объема 5000 м^3).

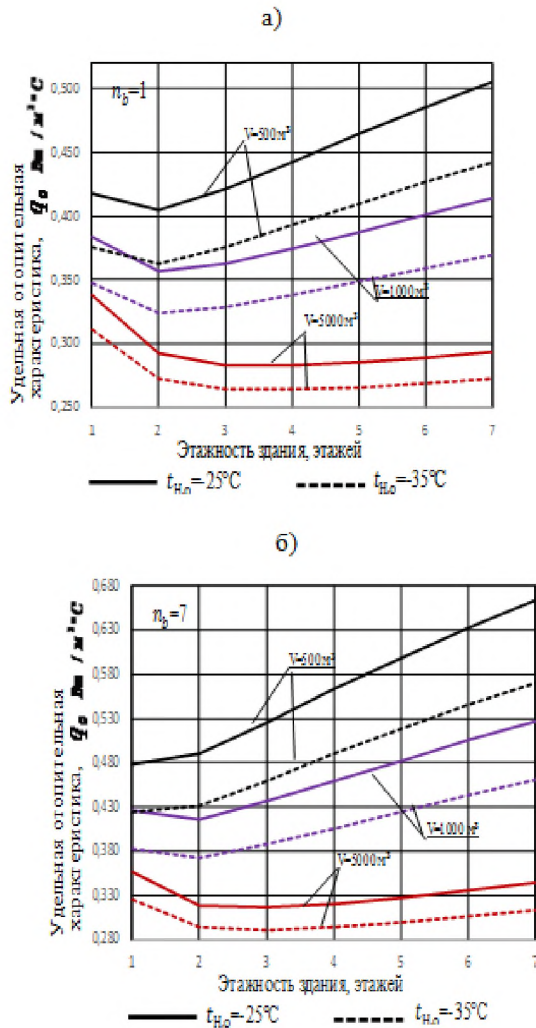


Рисунок 2 – Изменение удельной отопительной характеристики здания от этажности при $n_b = 1$ – а) и $n_b = 7$ – б)

А для «вытянутых» в плане зданий эта тенденция проявляется уже начиная с двухэтажных объектов не зависимо от расчетной температуры наружного воздуха.

Влияние соотношения сторон проекции здания характеризуется устойчивой тенденцией к снижению тепловой эффективности с увеличением длины здания (при неизменных отапливаемом объеме и высоте) (рис. 3). Хотя в этом случае остальные факторы оказывают существенное влияние на темп изменения q_0 .

Так с ростом n_b с 1 до 7 увеличение q_0 составляет 14 %, 11 % и 5,5 % для одноэтажных зданий объемом соответственно $500 m^3$, $1000 m^3$ и $5000 m^3$ при относительно высокой расчетной температуре $t_{H,o} = -25^\circ C$. Для 4-х и 7-ми этажных зданий эти показатели соответственно составят: 27 %, 23 % и 13 %; 31 %, 27 % и 17 %. Для региона с более холод-

ным климатом темп снижения q_0 несколько меньше, но все равно достаточно заметен: – для одноэтажных зданий – 13 %, 10 %, 5 %; – 4-х этажных – 24 %, 20 %, 11,5 %; – 7-ми этажных – 28 %, 24 % и 15 % (рис. 3 б). Интересно, что с увеличением объема зданий могут поменяться распределение уровней значений удельной характеристики. Для зданий небольшого объема характеристика q_0 монотонно возрастает от одноэтажного к 7-ми этажному зданию.

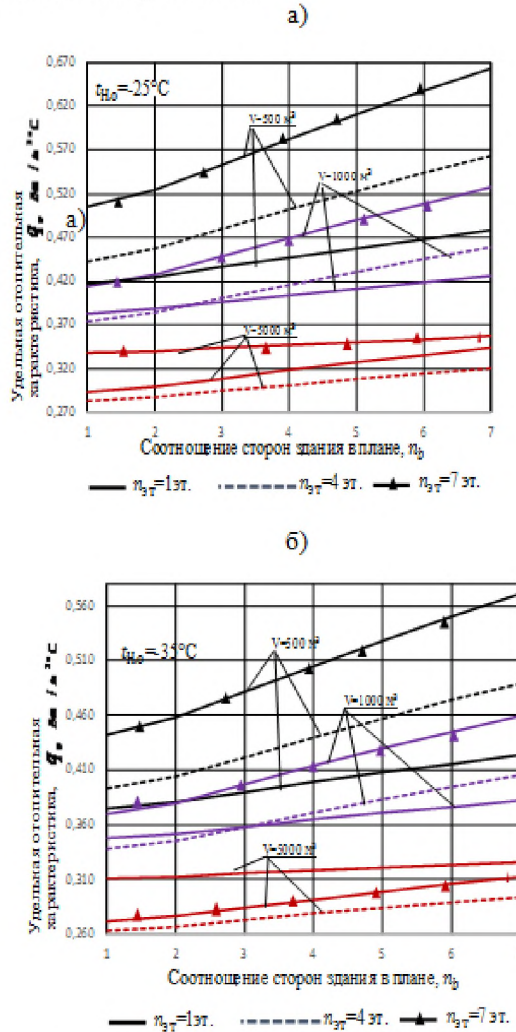


Рисунок 3 – Изменение удельной отопительной характеристики здания от отношения сторон здания в плане при $t_{H,o} = -25^\circ C$ – а) и $t_{H,o} = -35^\circ C$ – б)

Этот же эффект имеет место и в компактных ($n_b \leq (2,2-3)$) зданиях объемом $1000 m^3$.

Одной из важных характеристик здания является площадь остекления вертикальных поверхностей \bar{A}_v . Влияние этого показателя на удельную отопительную характери-

стику представлены на рис. 4, 5. Для квадратных в плане зданий $n_b = 1$, увеличение площади светопрозрачных проемов в 2,5 раза не приводит к существенному изменению q_0 . Максимальное увеличение этого показателя составило около 9 % для вытянутого в плане здания объемом 500 м³ и 7,8 % для компактного.

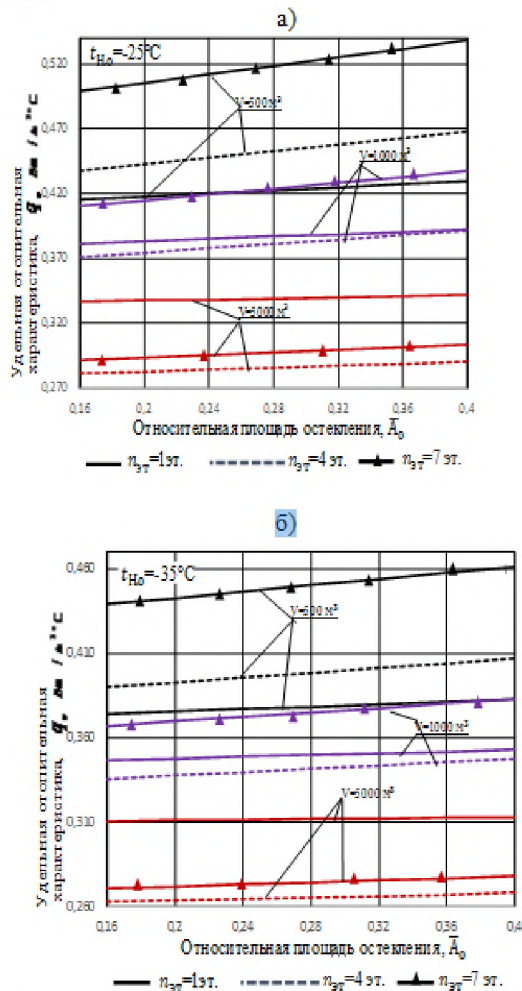


Рисунок 4 – Изменение удельной отопительной характеристики здания от относительной площади остекления \bar{A}_o при $n_b = 1$ и $t_{H.o} = -25^\circ\text{C}$ – а) и $t_{H.o} = -35^\circ\text{C}$ – б).

В целом проявляется тенденция уменьшения влияния степени остекления на тепловую характеристику при увеличении объема объекта и снижении этажности. При этом для более суровых климатических районов это влияние менее значимо, чем для более теплых пунктов. Так для значительных по объему компактных зданий (5000 м³) и $t_{H.o} = -35^\circ\text{C}$ увеличение q_0 составляет всего от 1 % (для одноэтажных зданий) до 2,5 % (7-ми этажных), против 1,5 % и 4,2 % для

$t_{H.o} = -25^\circ\text{C}$. Кроме того, чем больше по объёму здание, тем менее значимо различие уровней тепловых характеристик мало- и многоэтажных зданий.

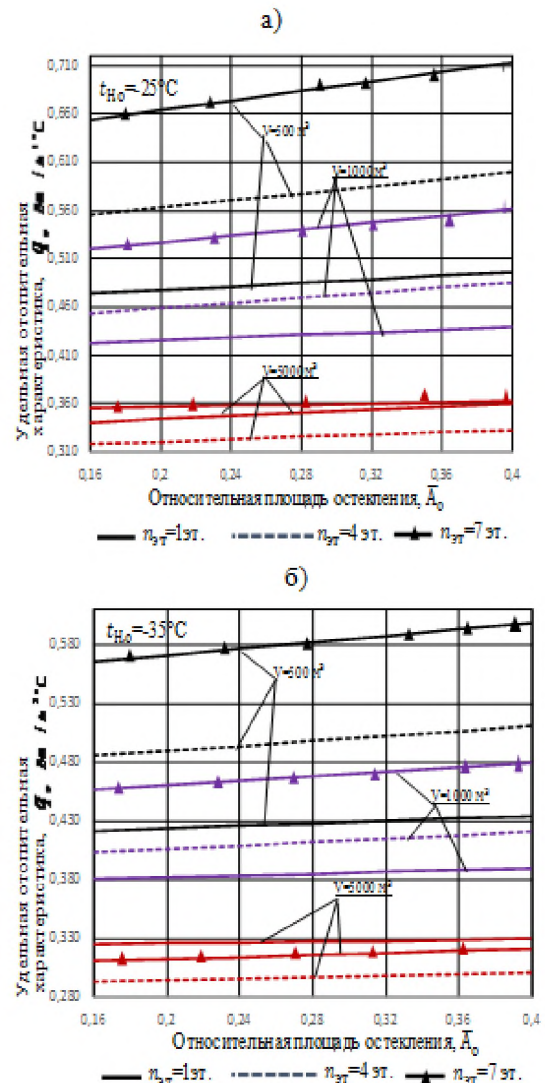


Рисунок 5 – Изменение удельной отопительной характеристики здания от относительной площади остекления \bar{A}_o при $n_b = 7$ и $t_{H.o} = -25^\circ\text{C}$ – а) и $t_{H.o} = -35^\circ\text{C}$ – б).

Результаты анализа представленной модели тепловой характеристики системы отопления показывают значительное влияние объемно-планировочных показателей на эффективность теплосбережения. И хотя нормативные требования к утеплению ограждающих конструкций несколько сглаживают эффект от выбора оптимальных параметров здания, тем не менее разница в удельной мощности отопления может достигать более 30 % для зданий одного объема, но различ-

ной этажности и конфигурации в плане.

Конечно, назначение объемно-планировочных решений здания не всегда ориентируется на достижение наивысшей энергетической эффективности, но предложенная

модель может оказать помощь в рассмотрении и оценке вариантов, удовлетворяющих как функциональные, так и энергосберегающие требования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция, кондиционирование.
2. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические системы // Под ред. И.Г. Староверова Ч.1 Отопление. – М., Стройиздат, 1993. – 896 с.
3. Табунщиков Ю. А. Энергосбережение и эффективность – мировая проблема предельной полезности // Энергосбережение. – 2010. – № 6. – С.20-26.
4. Табунщиков Ю. А., Ковалев И. А. Особенности оптимизации толщины утеплителя наружных стен здания. Системные аспекты // Энергосбережение. – 2017. – № 8. – С.31–38.
5. Стахов А.Е., Андреев А.А. Экономическая оценка конструктивных решений тепловой защиты зданий // АВОК. –2018. – №4. – С.42–47.
6. Генералова Е.М. Роль фасадных систем в борьбе за энергоэффективность // АВОК. – 2017. – № 8. – С.48–53.
7. Наумов А.Л. Энергетическая эффективность в здании производственного назначения// АВОК. – 2019. – № 3. – С. 31–39.
8. СП 54.13330.2016 Здания жилые многоквартирные.
9. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.
10. СП 131.13330.2018 Строительная климатология.