

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗДАНИЙ КАК РЕЗУЛЬТАТ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПАРАМЕТРЫ МИКРОКЛИМАТА В КВАРТИРАХ И ПОГРЕШНОСТЕЙ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА



Леонид Данилевский

Введение

Проектирование систем теплоснабжения зданий, включая расчет мощности отопительных элементов, выполняется для нормативных условий микроклимата помещений и наружной температуры, предполагая известными проектные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий и уровня воздухообмена помещений [1]. Температура воздуха принимается равной 18 °С, т.е. минимально возможной для жилых помещений.

В то же время сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций зданий в силу различных технических причин часто отличается от проектных значений: оптимальное значение температуры находится в диапазоне 20–22 °С, а устанавливаемое жильцами при возможности регулирования – от 18 до 25 °С [2]. Таким образом, уже на стадии проектирования закладывается противоречие между желаемыми и устанавливаемыми температурными режимами жилых помещений.

При их эксплуатации жильцы доступными для себя средствами устанавливают оптимальную температуру воздуха в квартирах. Поскольку на теплотехнические свойства ограждающих конструкций повлиять они не могут, а проектные решения, прошедшие экспертизу, практически не дают возможности повышения температуры регулированием отопительных элементов, единственный способ достичь этого, особенно в старых жилых домах, – воздухообмен. Жители уплотняют притворы окон всеми возможными средствами, уменьшая воздухообмен и снижая тем самым тепловые потери зданий, что позволяет приблизиться к оптимальному значению температуры воздуха в помещениях.

В новых зданиях, где герметичные окна не оставляют возможности экономии тепла путем

уменьшения воздухообмена, возникают неприятности, связанные с высокой влажностью в помещениях, причем жалоб на температуру воздуха в них, как правило, не возникает. Для ее регулирования жильцы оставляют окна в режиме микропроветривания или вентиляции, увеличивая воздухообмен, но на первом месте остается комфортная температура.

В итоге тепловой баланс здания в процессе эксплуатации формируется как результат случайных воздействий жильцов на параметры микроклимата квартир.

1. Проблемы воздухообмена в многоквартирных жилых зданиях

Сохранение вентиляционной системы естественного типа, без механического побуждения, привело в новых зданиях к негативным явлениям, связанным с ухудшением качества воздушной среды, нарушением температурного и влажностного режимов помещений. К этому можно добавить, что в зданиях, строящихся по существующим нормативам, на вентиляционные выбросы приходится до 50% теплотерь [3–5]. Недостаточный уровень воздухообмена в квартирах многоэтажек возникает вследствие системных недостатков естественной вентиляции без механического побуждения, принятой в современных зданиях. Расчеты воздухопроницаемости их ограждающих конструкций, выполненные в соответствии с [6], не оставляют возможности обеспечить нормативный уровень воздухообмена. Как видно из данных, приведенных на диаграмме (рис. 1), кратность инфильтрационного воздухообмена не превышает 10% от нормативного уровня для жилых зданий [7].

Часто положение с воздухообменом усугубляется строительным браком (рис. 2) – мусор в каналах, полностью или частично перекрытые каналы, отверстия в ограждениях вентиляционных

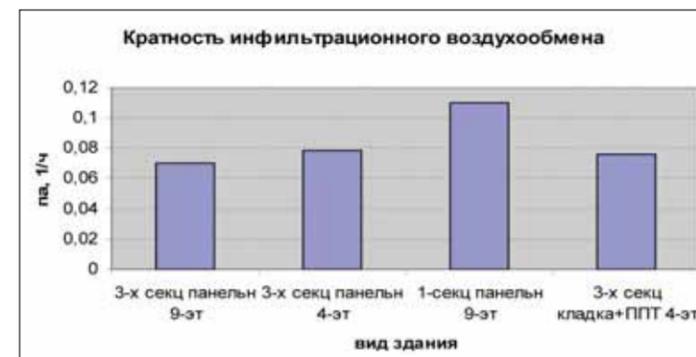


Рис. 1. Кратность воздухообмена вследствие фильтрации воздуха через ограждающие конструкции различных систем зданий

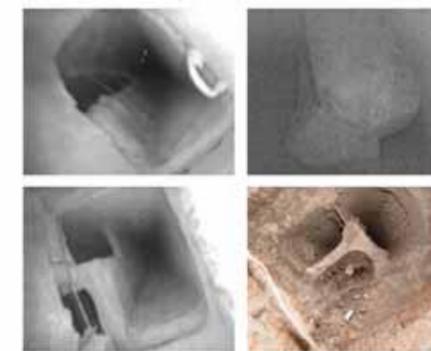


Рис. 2. Образцы типичного строительного брака в каналах вентиляционных шахт зданий

шахт, вследствие чего вытяжные вентиляционные шахты зданий не могут выполнять свои функции по удалению воздуха из квартир.

В итоге уровень воздухообмена в жилых помещениях становится ниже всех допустимых пределов. Последствия высокой влажности – конденсация влаги на стенах, плесень, отставание от стен обоев в квартирах жильцов, от которых поступали жалобы, зафиксированы на фотографиях (рис. 3). Как правило, выпадение влаги и другие негативные последствия отсутствия нормального воздухообмена являются результатом совпадения нескольких обстоятельств: к низкому уровню воздухообмена добавляется брак строительных конструкций, приводящий к появлению мостиков холода, что снижает температуру воздуха ниже точки росы. На качество воздуха обычно не жалуются.

Однако практически во всех случаях воздухообмен в проблемных квартирах намного ниже нормативных требований. Гистограмма распределения уровня воздухообмена в них приведена на рис. 4. Измерения в помещениях с деревянными окнами старой конструкции выполнялись при закрытых окнах, пластиковыми со стеклопакетами – с установкой механизма закрытия окон на микропроветривание. Проблемы с воздухообменом чаще возникают в новых зданиях или в старых при замене окон старой конструкции на пластиковые со стеклопакетами. Обычно в квартирах современных зданий окна закрыты.



Рис. 3. Последствия недостаточного воздухообмена в квартирах

Среднее значение общего воздухообмена в квартирах равно 51 м³/час при стандартном отклонении – 34 м³/час. При указанном среднем значении воздухообмена, исходя из нормативного значения при наличии газо-

вых плит – 140 м³/час или электрических – 110 м³/час, уменьшение тепловой нагрузки здания в год составляет 32 кВт·ч/м² в первом случае и 27 кВт·ч/м² во втором при стандартном отклонении 12 кВт·ч/м².

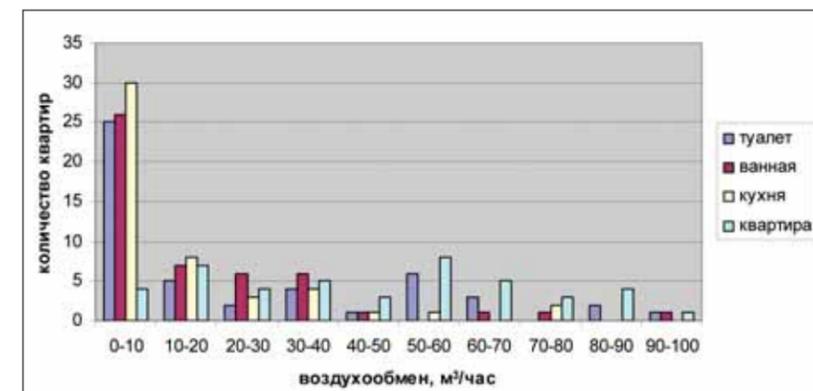


Рис. 4. Уровень воздухообмена в проблемных квартирах

2. Статистические характеристики удельного расхода тепла на отопление зданий

В [8] изложены результаты исследований теплоэнергетических характеристик жилых зданий г. Могилева по результатам отопительного сезона

2006–2007 гг. На рис. 5 представлен график распределения удельного потребления тепла на отопление зданий старого жилого фонда серий КПД 90, 464, 335, 334 по месяцам отопительного сезона, из чего можно сделать вывод, что наиболее холодным был февраль, а теплым – март, что соответствует действительности. Распре-

деления имеют выраженный случайный характер.

Распределение удельного годового потребления тепла на отопление тех же зданий, представленное на рис. 6, имеет среднее значение 128 при стандартном отклонении 19,6 кВт·ч/м² в год, что составляет

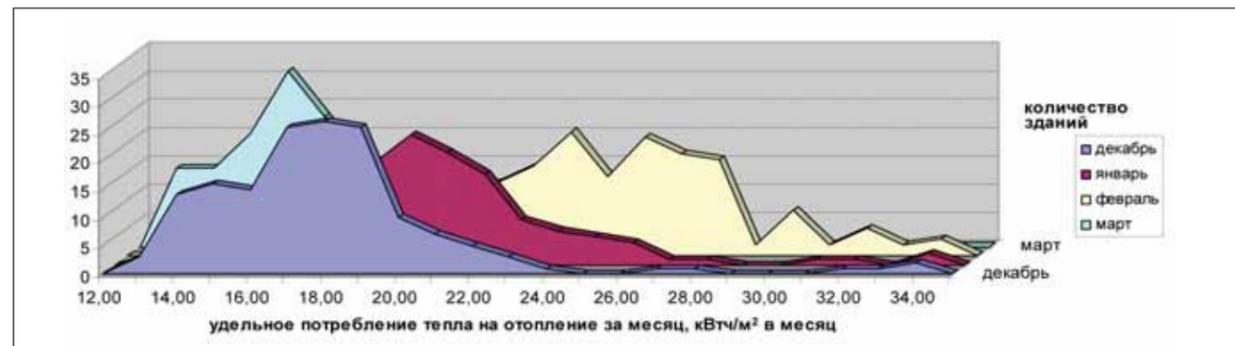


Рис. 5. Удельное за месяц потребление тепла на отопление зданий старого жилого фонда в отопительном сезоне 2006–2007 гг., кВт·ч/м² в месяц

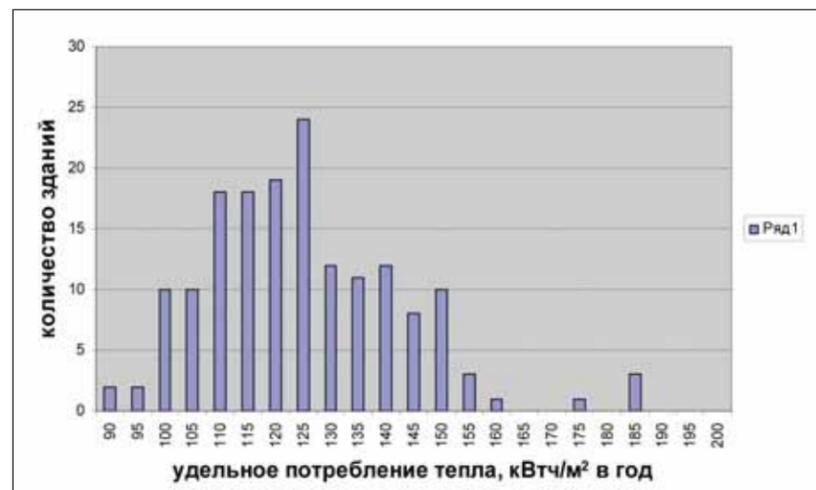


Рис. 6. Удельное годовое потребление тепла на отопление зданий старого жилого фонда в отопительном сезоне 2006–2007 гг., кВт·ч/м² в год

15,5%. В [9] расчетным путем установили среднюю температуру в зданиях в течение отопительного сезона, равную 21 °С, что дает расчетное значение удельных тепловых потерь, равное 166 кВт·ч/м² за отопительный сезон. Для того чтобы перейти к расчетному потреблению тепла на отопление, необходимо вычесть энергию внутренних его источников за время отопительного сезона.

Расчитанное для представленного на рис. 7 распределения мощности внутренних источников тепла для этих зданий среднее значение равно 6,1 Вт/м² при стандартном отклонении 0,4 Вт, что в пересчете на энергию дает 28,3 кВт·ч/м² за отопительный

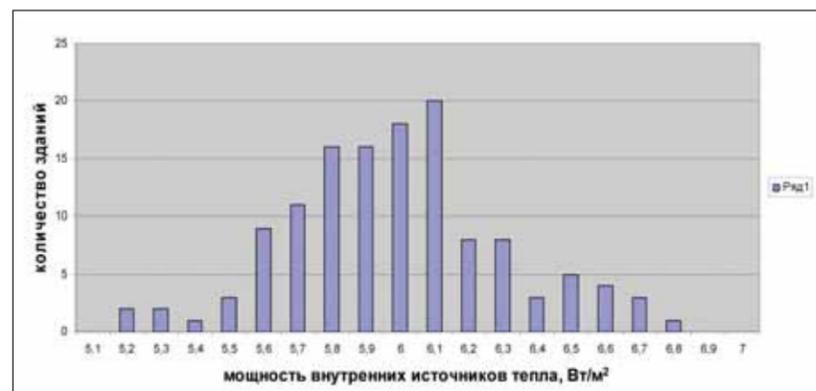


Рис. 7. Мощность внутренних источников тепла, Вт/м²

сезон при стандартном отклонении 1,9 кВт·ч/м².

С учетом энергии внутренних источников тепла расчетное значение удельной энергии потребления тепла равно 137,7 кВт·ч/м² за отопительный сезон, что больше эксплуатационного значения на 9,7 кВт·ч/м² в год, отклонение составляет 7% расчетной величины. Таким образом, расчетное удельное потребление тепла зданиями старого жилого фонда в среднем хорошо согласуется с измеренными эксплуатационными значениями. Стандартное отклонение этой величины обусловлено случайными отклонениями температуры, уровня воздухообмена в квартирах и теплотехническими характеристиками ограждающих конструкций.

На рис. 8 представлено удельное годовое потребление тепла на отопление новых зданий постройки 2000–2003 гг. Среднее значение, определенное по показаниям счетчиков тепла для 17 многоэтажных зданий, равно 91 кВт·ч/м² в год при стандартном отклонении 15,5 кВт·ч/м² в год. Среднее расчетное значение удельного годового потребления тепла на отопление для условий отопительного сезона 2006–2007 гг. г. Могилева и средней температуры воздуха в квартирах, равной 21 °С, и определенной ранее мощности внутренних источников тепла равно 85 кВт·ч/м² в год, что на 6 кВт·ч/м² в год меньше эксплуатационного значения, отклонение составляет 6,7%.

3. Тепловой баланс зданий в процессе эксплуатации

Представленные результаты дают основание сделать вывод о том, что в процессе эксплуатации тепловой баланс здания формируется вследствие случайных воздействий жильцов на параметры микроклимата квартир. Эти воздействия не только сказываются на величине теплотерь здания, они перераспределяют тепловую нагрузку между отдельными квартирами. Величину удельных теплотерь здания с учетом случайных воздействий жильцов и случайных отклонений теплотехнических характеристик строи-

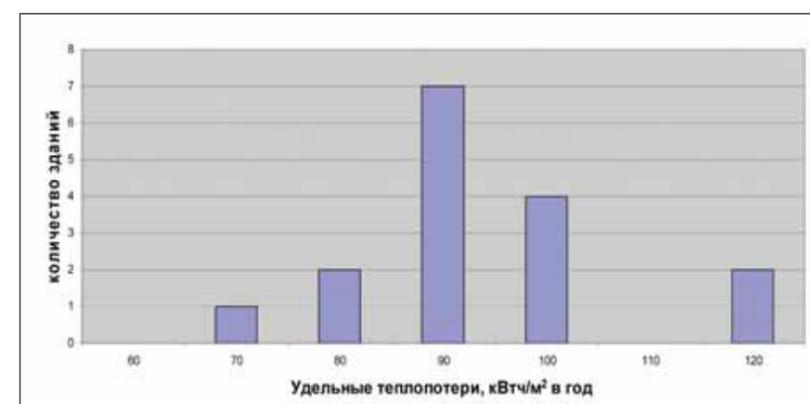


Рис. 8. Удельное годовое потребление тепла на отопление новых зданий в отопительном сезоне 2006–2007 гг., кВт·ч/м² в год

тельных конструкций можно записать в виде:

$$q = \frac{T_{icp} - T_{out}}{S_{ot}} (c \cdot \rho \cdot v_{cp} \cdot S_{ot} + \sum_{m=1}^M \frac{S_m}{R_m} (1 - \sum_{n=1}^N \frac{\delta R_{nm}}{R_m}) + \frac{1}{S_{ot}} \sum_{n=1}^N \tau_n (c \cdot \rho \cdot v_n \cdot S_n + \sum_{m=1}^M S_{nm} (\frac{1}{R_m} - \frac{\delta R_{nm}}{R_m^2})), \quad (1)$$

где T_{icp} и T_{out} – температура воздуха в помещениях принимается равной 18 значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий и ур – средняя температура воздуха в квартирах здания и средняя за отопительный сезон температура наружного воздуха соответственно, °С;

S_{ot} и S_n – отапливаемая площадь здания и отапливаемая площадь n-й квартиры соответственно, м²;

S_m и S_{nm} – площадь m-х ограждающих конструкций в здании и площадь ограждающих конструкций в n-й квартире (м²) с приведенным сопротивлением теплопередаче, равным R_m, м²·°С/Вт;

v_{cp} – средний объем воздухообмена в здании, м³/(м²·с);

τ_n – случайная величина, равная отклонению значения температуры в n-й квартире от среднего по зданию значения, °С;

v_n – случайная величина, равная отклонению значения воздухообмена

в n-й квартире от среднего по зданию значения, м³/(м²·с);

δR_{nm} – случайная величина, равная отклонению значения сопротивления теплопередаче m-го ограждения в n-й квартире от среднего по зданию значения; N и M – количество квартир в здании и количество типов ограждающих конструкций соответственно.

Так как случайные величины отклонений в выражении (1) имеют нулевое среднее значение, суммирование по n делает второй член суммы равным нулю и удельная мощность теплотерь остается равной первому члену суммы в (1).

Первый член суммы дает нам среднее значение удельных тепловых потерь здания в течение отопительного сезона, второй – случайную составляющую, обусловленную отклонениями температуры и воздухообмена в квартирах от среднего значения. Общий коэффициент теплопередачи эксплуатируемого здания равен величине:

$$f_1 = \frac{1}{S_{ot}} (c \cdot \rho \cdot v_{cp} \cdot S_{ot} + \sum_{m=1}^M \frac{S_m}{R_m}). \quad (2)$$

Величина среднеквадратичного отклонения удельной мощности зданий от среднего значения равна:

$$\sigma_q^2 = \frac{\sigma_{\tau}^2}{S_{ot}^2} (c^2 \cdot \rho^2 \cdot \sigma_v^2 \sum_{n=1}^N S_n^2 + \sum_{n=1}^N (\sum_{m=1}^M \frac{S_{nm}}{R_m})^2), \quad (3)$$

где σ_τ и σ_v – среднеквадратичное отклонение температуры и удельного

Таблица 1

Значения теплотехнических величин для зданий различного типа

Тип зданий	Старый жилой фонд		Новые здания		Соответствующие требованиям /13/		Энергоэффективные	
	трансмиссионные	Воздухообмен	трансмиссионные	Воздухообмен	трансмиссионные	Воздухообмен	трансмиссионные	Воздухообмен
Величина теплопотерь, кВт·ч/м ² в год	100	50	60	50	35	50	45	20
Общий коэффициент теплопередачи, f ₁ , Вт/(м ² ·°C), теория	1,12	0,52	0,7	0,52	0,94	0,52	0,51	0,21
f ₁ , Вт/(м ² ·°C), расчет по экспериментальным данным []	1,68		1,24		–		–	
σ _v , м ³ /час	34		34		–		–	
σ _q , кВт·ч/(м ² в год)	19,6		15,5		–		–	
Среднеквадратичное отклонение, σ _{f1} , Вт/(м ² ·°C)	0,21		0,17		–		–	

воздухообмена в квартирах от среднего значения, °C и м³/(м²·с) соответственно.

В таблице представлены значения удельных тепловых потерь и общего коэффициента теплопередачи, рассчитанные для зданий различных типов. В первых двух колонках приведены значения теплотехнических величин, рассчитанные по экспериментальным данным; в третьей и четвертой – расчетные значения. Стандартное отклонение значения f₁ как для зданий старого жилого фонда, так и для новых зданий – 13–14%.

Статистические характеристики теплового баланса должны учитываться при проектировании зданий, особенно серийных для домостроительных комбинатов. В процессе эксплуатации однотипных зданий необходимо выполнять статистический контроль показаний счетчиков тепла, определяя значение общего коэффициента теплопередачи здания по методике, изложенной в [9]. Данные статистической обработки должны стать основанием для корректировки теплотехнических характеристик здания, так, чтобы выполнялось условие:

$$f_{1np} < f_{1cp} + \sigma, \quad (4)$$

где f_{1np} и f_{1cp} – проектное и определенное для эксплуатируемых зданий значение общего коэффициента теплопередачи

здания, Вт/(м²·°C); σ – стандартное отклонение значения f₁, Вт/(м²·°C);

Такой подход к проектированию и строительству обеспечит заинтересованность застройщика в качестве работ, поскольку в ином случае недостатки придется компенсировать дополнительными затратами на утепление зданий.

Заключение

В процессе эксплуатации зданий воздействие жильцов на параметры микроклимата квартир и погрешности строительного процесса формируют тепловой баланс зданий в виде случайной величины, средние характеристики которой приближаются к проектным значениям, а стандартное отклонение может достигать значительной, более 15%, величины.

Основной параметр теплового баланса, доступный жильцам, – уровень воздухообмена. Исследования в проблемных квартирах показали его недостаточность, что приводит к ухудшению микроклимата и проявляется в виде выпадения влаги на стенах, плесени, отставания обоев от стен.

Изучение теплотехнических характеристик эксплуатируемых зданий новой застройки и старого жилого фонда засвидетельствовало случайный характер величины удельного расхода тепла на отопление. Результаты ис-

следований позволили получить математическую запись для величины удельных теплопотерь здания с учетом случайных воздействий жильцов и случайных отклонений теплотехнических характеристик строительных конструкций.

На основании проведенных исследований предложен новый подход к проектированию, в котором данные статистической обработки потребления тепла на отопление должны стать основанием для корректировки теплотехнических характеристик здания в последующих проектах.

Литература

1. Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха. СНБ 4.02.01-03 – Мн., 2004.
2. Пилипенко, В.М., Данилевский, Л.Н., Терехов, С.В. Системы автоматизации энергоэффективного панельного жилого дома в Минске / Архитектура и строительство. – 2009. – № 7. – С. 16–19.
3. Данилевский, Л.Н. К вопросу о снижении уровня теплопотерь здания. Опыт белорусско-германского сотрудничества в строительстве. – Мн.: НПООО «Стринко», 2000. – С. 76–77.
4. Данилевский, Л.Н. Основные требования к конструкции и инженерным системам энергоэффективных зданий / Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2006. – № 7 (90). – С. 66–67.
5. Васильев, Г.П., Тимофеев, Н.А. Энергетический потенциал вентиляционных выбросов жилых зданий в Москве / АВОК. – 2009. – № ??? – С. 24–28.
6. ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования». – Мн., 2006.
7. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха / Справочное пособие. – М.: Пантори, 2003.
8. Данилевский, Л.Н., Жила, А.Н., Москалик, Б.Ф. Фактические энергетические характеристики жилых зданий / Строительная наука и техника. – 2008. – № 5. – С. 22–29.
9. Данилевский, Л.Н. Методика определения теплоэнергетических характеристик эксплуатируемых зданий / Строительная наука и техника. – 2010. – № 6. – С. 31–35.