

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

**Введение.** Возросшие в настоящее время требования к экономии энергетических ресурсов в градостроительстве вызывают необходимость детального исследования теплотехнических характеристик жилых зданий с учетом специфики современного высотного домостроения и сбалансированных систем тепловоздушоснабжения многоэтажных герметичных зданий с наружными ограждениями повышенной теплозащиты.

В условиях повышения цен на энергоносители основным критерием тепловой эффективности зданий является термическое сопротивление теплопередаче  $R_0$ , величина которого стремится к увеличению за счет изменения действующих нормативных документов. Так, в Республике Беларусь с 1993 года установлены нормативы  $R_0 = 2 \dots 3 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C/Вт}$ , в Финляндии и Швеции с 1985 г. установлены нормативы  $R_0 = 4 \dots 5 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C/Вт}$ , а к 2005 г. эти значения будут повышены до  $R_0 = 7 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C/Вт}$ .

**Предмет и методы исследования.** Аналитическое описание теплового и воздушного режимов по критерию энергоресурсосбережения и комфортности микроклимата зданий.

**Результаты.** Комфортные условия среды проживания создаются инженерными системами зданий, из которых наиболее металлоемкими и энергозатратными являются системы теплоснабжения и вентиляции, предназначенные для подачи свежего воздуха и обеспечения теплового комфорта, жизненно необходимых для человека.

Стремительный рост населения Земли и смещение его в города из-за ограниченности посевных площадей обусловили высотное строительство. На территории бывшего СССР законодательно в больших городах в 70-е годы прошлого столетия введено ограничение на строительство малоэтажных зданий и для массовой жилищной городской застройки рекомендованы 9, 12, 16-этажные чердачные здания. Такое строительство практикуется и в Республике Беларусь, где за 30-летний период возведено значительное их количество. Основной планировочной особенностью их является наличие внутри здания лестнично-лифтового объема, выполняющего дополнительно функции вытяжной шахты, нарушающей воздушно-тепловой режим в здании, при котором, подчиняясь законам аэродинамики, а точнее – аэрации, нижняя часть здания работает в режиме инфильтрации, а верхняя – эксфильтрации, при этом нижние помещения переохлаждаются из-за неорганизованного поступления больших масс холодного наружного воздуха, а верхние помещения эксплуатируются в условиях повышенной загазованности и переувлажненности воздуха, связанных с явлением «опрокидывания» циркуляции.

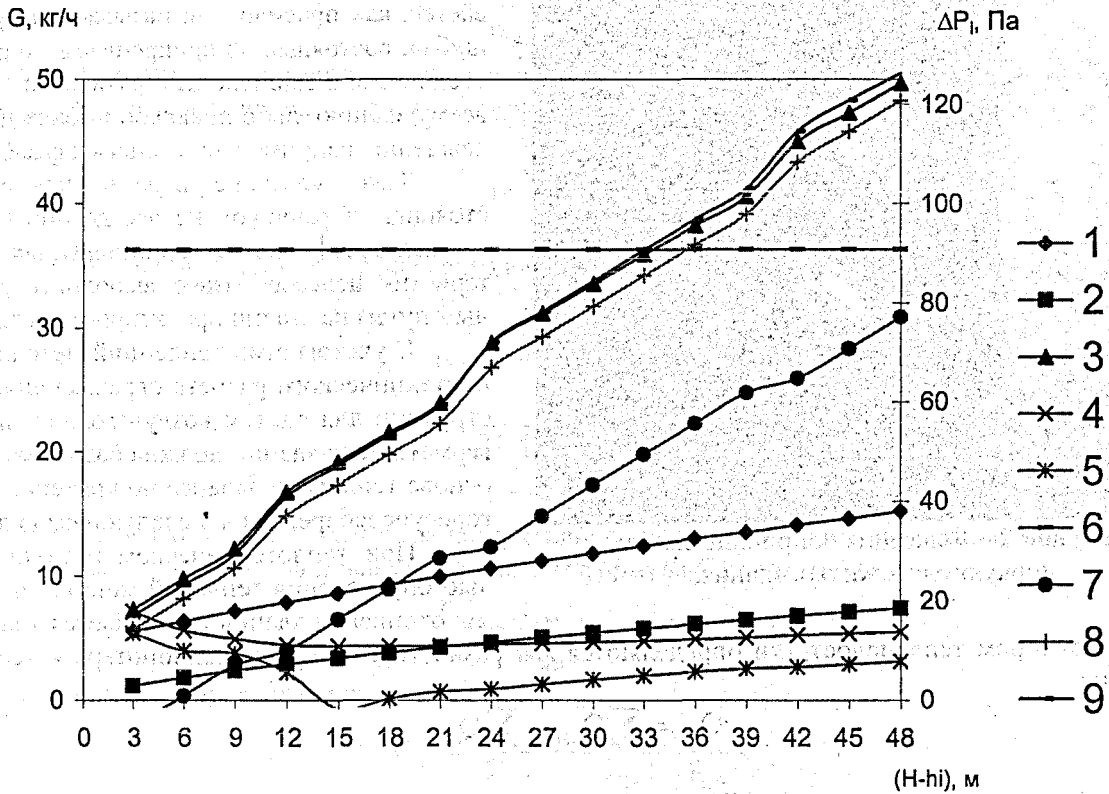
Приоритеты энергоресурсосбережения в градостроительстве Республики Беларусь определились в начале 90-х годов созданием нормативной базы, повышающей более чем в три раза теплозащитные свойства наружных ограждений, что привело к снижению воздухопроницаемости, повышению герметичности, исключая естественное воздухообменное, нарушающее воздушный режим и создающее дискомфорт микроклимата эксплуатируемых зданий.

Эти изменения в технологии воздухообменного не нашли отражения в нормативной базе. Расчет расхода свежего воздуха, поступающего в помещения за счет инфильтрации, выполненный по СНиП 2.04.05-91, дает завышенные значения, так как в формулах используются нормативные величины воздухопроницаемости ограждающих конструкций, а не их фактические значения, которые в сотни раз меньше (рис. 1). Анализируя графики имеем, что при высоте вытяжных каналов 35 метров и выше обеспечивается нормативный воздухообмен для помещений нижнего этажа, т.е. для двенадцатиэтажного здания только первые два нижних этажа работают в условиях нормативной инфильтрации.

Согласно СНиП имеем:

$$G_i = 0,216 \sum A_1 \cdot \frac{\Delta P_i^{0,67}}{R_u} + \sum A_2 \cdot G_H \left( \frac{\Delta P_i}{\Delta P_1} \right)^{0,67} + 3465 \sum A_3 \cdot \Delta P_i^{0,5} + 0,5 \sum \ell \frac{\Delta P_i}{\Delta P_1};$$

$$\Delta P_i = (H - h_i) \cdot (\gamma_i - \gamma_p) + 0,5 \rho_i v^2 \cdot (C_{вн} - C_{сп}) \cdot K_1 - P_{int}.$$



1 – расчетный расход инфильтрующегося воздуха через окна с заветренной стороны;  
 2 – расчетный расход инфильтрующегося воздуха через окна с наветренной стороны;  
 3 – фактический расход инфильтрующегося воздуха через  $1 \text{ м}^2$  окна;  
 4 – фактический расход инфильтрующегося воздуха через окно;  
 5 – давление с заветренной стороны; 6 – давление с наветренной стороны;  
 7 – расчетный расход инфильтрующегося воздуха при выходе квартирного объема на противоположные фасады здания;  
 8 – расчетное гравитационное давление; 9 – нормативный воздухообмен по СНиП  
**Рисунок 1** – Результаты расчета инфильтрации для 16-ти этажного здания по формулам из СНиП 2.04.05 – 91. Отопление, вентиляция и кондиционирование:

Таким образом, уже на стадии проектирования закладываются условия недопоставки свежего приточного воздуха в вентилируемые помещения, связанные с нарушением нормативных воздухообменов и дискомфортом микроклимата помещений. Результаты обработки данных многочисленных натурных и инструментальных замеров параметров воздушной среды, выполненных по ходатайству эксплуатирующих организаций, связанных с жалобами жильцов и судебными разбирательствами, показали повышенную загазованность и избыточную влажность из-за нарушения естественной вентиляции, основанной на инфильтрации. Основными причинами является наличие двух и более вытяжных каналов в объеме квартиры, когда кухонный канал с большим сечением работает на вытяжку, а каналы меньшего сечения из туалета и ванной работают на приток при закрытых форточках; для квартир верхних этажей, открывающихся через ответвления вытяжных вентблоков в объемы чердаков, имеет место «опрокидывание» циркуляции, когда при открывании форточек эксфильтрация усиливается; а общим недостатком чердачных зданий с шахтой без дефлектора является общее нарушение естественной вентиляции в здании при задувании направленного под углом ветрового потока в объем чердака, когда шахта работает не на вытяжку, а на приток, вызывая повышенное давление и «опрокидывание» циркуляции всей системы вентиляции здания (рис. 2).

Снижение безвозвратных трансмиссионных потерь теплоты зданием в современном градостроительстве осуществляется за счет устройства дополнительной теплозащиты наружных ограждений. Для



Рисунок 2 – Фиксация «опрокидывания» циркуляции в жилых зданиях

этой цели при реконструкции зданий устраивается, как правило, так называемая «Термошуба», состоящая из прикрепляемого к стене утеплителя и защитно-декоративного слоя по всему зданию, либо локально в зонах переохлаждения, например, на торцевых фасадах.

Такое «латание дыр» в виде дорогостоящих «термошуб» не всегда оправданно, так как выравнивание теплозащитных характеристик целесообразнее выполнять расчетным путем на стадии проектирования здания.

С учетом этих тенденций методика теплотехнического расчета ограждающих конструкций для систем воздушного отопления герметичных зданий должна базироваться на основе теплового баланса по критерию энергоресурсосбережения в следующем виде.

При теплотехническом расчете с целью определения тепловой мощности системы отопления здания составляется тепловой

баланс, в котором теплонедостатки определяются как разность суммарных теплопотерь и теплопоступлений

$$Q_{co} = \sum Q_{пот} - \sum Q_{пост}, \quad (1)$$

где  $Q_{co}$  – теплонедостаток, т.е. расчетная мощность системы отопления, Вт;

$\sum Q_{пот}$  – суммарные тепловые потери помещениями, Вт;

$\sum Q_{пост}$  – суммарные теплопоступления в помещения, Вт.

Для жилых зданий с неорганизованным притоком наружного воздуха за счет инфильтрации тепловая мощность системы отопления равна

$$Q_{co} = Q_{огр} + Q_{и} - Q_{быт}, \quad (2)$$

где  $Q_{огр}$  – теплопотери через ограждающие конструкции, Вт;

$Q_{и}$  – теплозатраты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха, Вт;

$Q_{быт}$  – бытовые тепловыделения, Вт.

Для жилых зданий с воздушным отоплением тепловой баланс запишется в виде

$$Q_{в.о.} = Q_{огр} + Q_{в} - Q_{быт}. \quad (3)$$

Это уравнение (6) перепишем иначе

$$Q_{в.о.} + Q_{быт} = Q_{огр} + Q_{в}. \quad (4)$$

Если задаться начальным условием

$$Q_{во} = Q_{в}, \quad (5)$$

то тогда из (4) очевидно, что

$$Q_{огр} = Q_{быт}. \quad (6)$$

Запишем уравнение (6) в развернутом виде для помещения промежуточного этажа

$$\left( \frac{F_{нс}}{R_{нс}} + \frac{F_{ок}}{R_{ок}} \right) \cdot (t_{в} - t_{н}) = 21 \cdot F_{п}, \quad (7)$$

откуда

$$R_{нс} = \frac{F_{нс}}{21 \cdot F_{п} - \frac{F_{ок}}{R_{ок}} \cdot (t_{в} - t_{н})}. \quad (8)$$

В развернутом виде значение величины  $R_{нс}$ , например, для бетонной стены с эффективным слоем утеплителя, можно записать в виде

$$R_{nc} = \frac{1}{\alpha_b} + \frac{\delta_b}{\lambda_b} + \frac{\delta_{yt}}{\lambda_{yt}} + \frac{1}{\alpha_n} \quad (9)$$

Толщина наружного и внутреннего слоев бетона принимается конструктивно из условий прочности, и тогда искомая величина промежуточного эффективного слоя утеплителя определится из выражения

$$\delta_{yt} = \lambda_{yt} \left[ R_{nc} - \left( \frac{1}{\alpha_b} + \frac{\delta_b}{\lambda_b} + \frac{1}{\alpha_n} \right) \right] \quad (10)$$

Для помещения верхнего этажа бесчердачного здания формула (7) запишется в виде

$$\left( \frac{F_{nc}}{R_{nc}} + \frac{F_{ок}}{R_{ок}} + \frac{F_{пол}}{R_{пол}} \right) \cdot (t_b - t_n) = 21 \cdot F_n \quad (11)$$

$$R_{nc} = \frac{F_{nc}}{21 \cdot F_n - \left( \frac{F_{ок}}{R_{ок}} + \frac{F_{пол}}{R_{пол}} \right)} \quad (12)$$

При теплотехническом расчете конструктивного исполнения наружной стены для помещений первого этажа зданий с неотапливаемым подвалом формула (7) переписывается в виде

$$\left( \frac{F_{nc}}{R_{nc}} + \frac{F_{ок}}{R_{ок}} + \frac{F_{пок}}{R_{пок}} \right) \cdot (t_b - t_n) = 21 \cdot F_n \quad (13)$$

тогда значение  $R_{nc}$  определится из выражения

$$R_{nc} = \frac{F_{nc}}{21 \cdot F_n - \left( \frac{F_{ок}}{R_{ок}} + \frac{F_{пок}}{R_{пок}} \right)} \quad (14)$$

Таким образом, изначально принятые условия равенства (6) позволяют за счет незначительных изменений толщины эффективного слоя утеплителя  $\delta_{yt}$ , определяемого по формуле (10) при подборе конструкции наружной стены на основании теплотехнического расчета, получить выровненный тепловой режим эксплуатации для всех помещений, включая нижние, верхние, промежуточные и даже угловые помещения.

Равные условия обеспечения теплового режима эксплуатации всех помещений, вне зависимости от их расположения в здании, позволяют создать условия выполнения второго равенства (5) из уравнения теплового баланса (4), при которых во все помещения системой воздушного обогрева здания подается приточный воздух с одинаковой температурой  $t_{пв}$ , равной температуре внутреннего воздуха  $t_b$ .

Если в приточном центре наружный воздух подогревается до температуры  $t_b$  и распределяется по приточным каналам или воздуховодам без дополнительного или местного подогрева, то эксплуатация такой системы значительно упрощается и удешевляется, т.к. исключаются транзитные потери теплоты из-за отсутствия перепада температур и необходимость установки местных устройств автоматики и подогревателей.

Количество приточного воздуха  $L_n$ , м<sup>3</sup>/ч, определится по рекомендациям [3, прил.19]:

$$L_n = 3 \cdot F_n \quad (15)$$

а расход теплоты  $Q_{пр}$  на подогрев наружного воздуха в приточном центре от  $t_n$  до  $t_b = t_n$  определится из выражения

$$Q_{в.о.} = Q_b = Q_{пр} = 0,28 \cdot L_n \cdot \rho_n \cdot C (t_b - t_n^B) \quad (16)$$

или

$$Q_{пр} = 0,84 \cdot F_n \cdot \rho_n \cdot C (t_b - t_n^B) \quad (17)$$

где  $F_n$  — суммарная площадь пола жилых помещений, обслуживаемых системой воздушного отопления, м<sup>2</sup>;

$\rho_n$  — плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$C$  — теплоемкость воздуха, Кдж/м<sup>3</sup>°С;

$t_b$  — температура внутреннего воздуха, °С;

$t_n^B$  — расчетная наружная температура, принимается по параметрам Б [3, прил.8].

Для оценки теплотехнических показателей принятого конструктивно-планировочного решения расчет теплопотребления проектируемого здания обычно заканчивают определением удельной тепловой характеристики  $q_{уд}$  по формуле

$$q_{уд} = \frac{Q_{в.о}}{V_n \cdot (t_n^в - t_n^б)}, \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°С}, \quad (18)$$

которую сравнивают со средними показателями для аналогичных зданий, принимаемых по приложению 2 [4]. Для зданий массовой жилой застройки там же предложена формула для определения удельной тепловой характеристики

$$q_{уд} = 1,163 \left( 0,37 + \frac{1}{H} \right), \quad (19)$$

где  $H$  – высота здания, м.

Из уравнения (19) очевидно, что величина  $q_{уд}$  уменьшается с увеличением этажности и высоты здания.

Для жилых зданий, включая гостиницы и общежития, удельная тепловая характеристика здания для населенных пунктов с расчетной наружной температурой  $t_n^б = -30^\circ \text{С}$  в зависимости от объема зданий  $V_n$  (3,5, 10, 15, 20 тыс. м<sup>3</sup>) изменяет среднестатистические значения  $q_{уд}$  (0,49; 0,44; 0,39; 0,36; 0,34 Вт/м<sup>3</sup>·°С).

Для других климатических условий вводится поправочный коэффициент, определяемый по приложению 2 [4] и для местных климатических условий Республики Беларусь этот коэффициент в расчетах можно усреднено принимать равным  $\alpha = 1,08$ .

Однако, приводимые в справочной литературе значения удельной тепловой характеристики для гражданских зданий, эксплуатируемых в режиме инфильтрации, значительно занижены, т.к. количество инфильтрующегося воздуха постоянно изменяется в переменных условиях отопительного периода (изменении барометрического и ветрового давлений, температуры наружного воздуха и т.п.), что приводит к переохлаждению зданий, и как следствие, повышению удельной тепловой характеристики.

**Заключение.** Создана методическая база для теплотехнического расчета ограждающих конструкций на основе составления воздушного и теплового балансов для каждого ограждающего помещения в отдельности, а не для всего здания в целом, как это практикуется в настоящее время. При современном уровне компьютеризации, такая детализация инженерных расчетов конструктивного исполнения каждого отдельного элемента наружной стены не является громоздкой, но дает значительные преимущества для применения энергоресурсоэффективной системы воздушного обогрева зданий, совмещенной с централизованным воздухомоснабжением каждого помещения, в соответствии с повышенными требованиями комфортности микроклимата.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Липко В.И. Вентиляция герметизированных зданий: В 2 т. – Новополоцк: Полоцкий государственный университет, 2000. – Т. 1: Теория расчета и реформирование вентиляции герметизированных помещений. – 300 с.; Т. 2: Сборник методических материалов по энергосберегающей технологии вентиляции с примерами расчета и конструирования. – 246 с.
2. СНиП 2:04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой СССР. – М.: АПП ЦИТИ, 1992 – 64с.
3. Отопление и вентиляция жилых и гражданских зданий: Проектирование: Справочник / Г.В. Русланов, М.Я. Розкин, Э.Л. Ямпольский. – Киев: Будівельник, 1983. – 272 с.