

УДК.697.1:697.9:699.8:628.8

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ УДЕЛЬНЫХ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ НОРМИРОВАНИИ РАСХОДА ТЕПЛОТЫ И ТОПЛИВА В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

Игнатьев В.С., Шадрин А.П., Иванов В.А.

*Институт физико-технических проблем Севера им. акад. В.П. Ларионова СО РАН,
г. Якутск*

Опыт эксплуатации жилых зданий в Республике Саха (Якутия) показывает, что количества теплоты для отопления зданий, определенного нормами методики нормирования расхода теплоты и топлива (1987) [1], недостаточно для длительного сохранения нормальной температуры в отапливаемых помещениях, регламентируемой СНиП «Жилые здания».

В принципе «Нормы-1987» были разработаны как инструмент для определения потребности в топливе на коммунально-бытовые нужды при централизованной поставке через сбытовые организации Госплана СССР и ЯАССР, и в них приводятся укрупненные усредненные оценки расходов теплоты и топлива.

Фактически эти нормативы являются усредненными показателями потребления теплоты и топлива по всему массиву жилого сектора без разделения на одноэтажную и многоэтажную застройку зданий населенных пунктов и без учета конкретных условий эксплуатации зданий (условий застройки и качества СМР в зданиях, этажности, сроков эксплуатации).

В связи с этим возникла необходимость в уточнении методики расчета общих потерь в жилых зданиях, эксплуатируемых в РС(Я) что вызвало постановку двух задач:

- разработка метода, наиболее полно учитывающего внешние факторы и характеристику зданий при определении теплопотерь зданий;
- проверка разработанной методики определения теплопотерь в эксплуатационных условиях.

Проведение настоящей работы шло по двум направлениям:

- 1) обработка материалов экспериментальных исследований выполненных Институтом физико-технических проблем Севера СО РАН в последние годы;
- 2) теоретическое, основанное на изучении существующих норм и правил проектирования и результатов исследований разных учреждений и авторов.

Дифференцированный учет температурно-ветровой характеристики климата РС(Я).

Климат Якутии с резкими изменениями теплового режима в течение года определяется как резко-континентальный. Перепад температур наружного воздуха между зимними и летними месяцами (январь-июль) достигает мирового максимума и составляет 55-65°C.

Наиболее холодными являются Оймяконская и Верхоянская впадины, где минимальная температура достигает $t_n = -71^\circ\text{C}$ в Оймяконе и $t_n = -68^\circ\text{C}$ в Верхоянске.

Центральная территория республики является областью затишья и слабых ветров по сравнению с северными окраинами на побережье Северного Ледовитого океана, где, к примеру в п. Сюрен-Кель, скорость ветра в январе достигает 8,9 м/с. Отопительный период в Якутии продолжительный, с сильными морозами и достигает 6-7 месяцев в году, а на побережье Северного Ледовитого океана - круглогодичный. До 1963 г. продолжительность отопительного периода определялась по числу дней с устойчивой среднесуточной температурой наружного воздуха ниже 5°C. С 1 июля 1963 г. на основании

Постановления Совета Министров СССР продолжительность отопительного периода определяется по числу дней со среднесуточной температурой воздуха 8°C.

Разнообразие климатических характеристик на территории Якутии недостаточно отражается в действующих СНиП по проектированию зданий и сооружений, и для более полного учета климатических условий Республики Саха (Якутия) в 2002 г. разработаны и введены в действие территориальные строительные нормы РС(Я) ТСН23-343-2002 [2], в соответствии с которыми территория РС(Я) по показателям ГСОП разделена на четыре климатические зоны (укрупнены по сравнению с нормами 1987г.).

Выбор рационального метода расчета удельных теплотехнических характеристик отапливаемых зданий.

В настоящее время в эксплуатации еще находятся здания и сооружения, построенные после 60-х гг., теплотери которых определялись по действующим на тот момент СНиП «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [3]. Определение тепловых нагрузок для проектирования систем отопления выполнялись с учетом следующих потерь и поступлений теплоты:

- потери теплоты через ограждающие конструкции;
- расход теплоты на нагревание инфильтрационного воздуха поступающего в отапливаемые помещения;
- расход теплоты на нагревание материалов, оборудования и транспортных средств и т.д.;
- тепло поступающее от различных источников теплоты находящихся в отапливаемых помещениях, в том числе от людей.

Тепловые потери здания, таким образом, состоят как бы из двух составляющих, трансмиссионного и инфильтрационного, определение которых в корне отличаются между собой.

Трансмиссионные потери определяются как потери посредством теплопередачи через ограждающие конструкции здания. Их величина зависит от конструкции и размера стен, пола и потолка, а также окон, но при этом из условия соблюдения санитарно-гигиенических требований по обеспечению комфортных условий быта и труда человека независимо от географического расположения здания, нормируемые значения плотности теплового потока q^H Вт/м² одинаковы. Отсюда следует, что для обеспечения одинаковой плотности теплового потока в местностях с более низкой температурой наружного воздуха увеличивается теплозащитность здания, то есть применяются ограждающие конструкции с большим сопротивлением теплопередаче. Это означает, что однотипные здания, построенные в разных местностях должны иметь ограждающие конструкции с одинаковым значением коэффициента теплопередачи независимо от климатических условий, это есть условие равной теплозащитности.

При определении суммарных тепловых потерь через ограждающие конструкции (трансмиссионные потери) зданий учитываются основные и дополнительные потери теплоты.

Основные и дополнительные потери теплоты определяются посредством суммирования теплотери через отдельные ограждающие конструкции по формуле из приложения 9 к СНиП 2.04.05-91* «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [3]:

$$Q = A \cdot (t_p - t_{ext}) (1 + \sum \beta) \cdot \frac{n}{R} \quad (1)$$

где A – расчетная площадь ограждающей конструкции, м²;

R – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м²·°С/Вт;

t_p – расчетная температура воздуха в помещении, $^{\circ}\text{C}$;

t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха $^{\circ}\text{C}$;

β – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь;

n – коэффициент поправочный учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции.

Добавочные потери теплоты β включают в себя:

1. Потери теплоты через наружные вертикальные и наклонные стены, двери и окна при типовом проектировании; то же при безадресном определении теплотерь любого здания в размере 0,08 при одной наружной стене и 0,13 для угловых помещений (кроме жилых), а во всех жилых помещениях – 0,13.

2. Потери через необогреваемые полы первого этажа над холодными подпольями в размере 0,05.

3. Через наружные двери, не оборудованные завесами, по расчету.

Приведенная выше формула применяется при определении тепловых потерь отдельных зданий при расчетной температуре, но мало приемлема при определении расходов теплоты больших массивов существующей застройки населенных пунктов, ввиду огромного количества типоразмеров зданий и связанных с этим обработки исходных данных [4].

В принципе потери теплоты любого отапливаемого здания можно охарактеризовать через усредненную теплотехническую характеристику этого здания, отнесенную к его объему здания или к суммарной площади наружных ограждающих конструкций, а также к общей площади полов жилых помещений.

В первом случае этим показателем при определении теплотерь служит трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания, или удельная тепловая характеристика: объемная q_0^o ($\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot \text{град}$) – тепловые потери здания в килокалориях в час при разности температур между внутренним и наружным воздухом, равной 1 градусу, приходящиеся на 1м^3 объема здания.

Во втором случае - это приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания, который также определяется как удельная тепловая характеристика: поверхностная $q_0^п$ ($\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{град}$) - тепловые потери здания (Вт) при разности температур между внутренним и наружным воздухом, равной 1 градусу, приходящиеся на 1м^2 поверхности здания.

В третьем случае - это приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания, который можно также определить как удельная тепловая характеристика: площадная $q_0^ж$ ($\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{град}$) - тепловые потери здания (Вт) при разности температур между внутренним и наружным воздухом, равной 1 градусу, приходящиеся на 1м^2 общей площади полов здания.

Под инфильтрационными потерями теплоты подразумевается расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха, поступающего в отапливаемые помещения через ограждающие конструкции.

Расход теплоты на подогрев инфильтрующегося воздуха в помещениях жилых и общественных зданий при естественной вентиляции по СНиП [3] определяется по формулам:

$$Q_{\text{вдо}} = 0,28 \sum G_i \cdot c (t_B^p - t_H^p) \cdot k \quad (2)$$

где G_i - расход инфильтрационного воздуха через неплотности наружных ограждающих конструкций, $\text{кг}/\text{ч}$;

c = удельная теплоемкость воздуха равная, $\text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{град}$;

k = коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях равная 0,7.

$$Q_{\dot{t}o} = 0,28 \cdot L_n \cdot \rho \cdot c (t_A^D - t_i^D) \quad (3)$$

где L_n - расход удаляемого воздуха, равная притоку воздуха для жилых зданий равный $3\text{ м}^3/\text{час}$ на 1 м^2 жилых помещений, нормируемый исходя из санитарно-гигиенических условий;

ρ – плотность воздуха в помещении $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для компенсации расхода теплоты на инфильтрацию СНиП рекомендует принимать большую из величин, полученных из расчета по вышеуказанным формулам.

Практические расчеты показывают, что величина инфильтрации, определенная по формуле (3), всегда больше, чем величина, определенная по формуле (2), и является определяющей при расчетах расходов теплоты на подогрев наружного воздуха поступающего в отапливаемое помещение или здание.

Определение расхода теплоты на подогрев инфильтрующего воздуха по величине расхода воздуха, которая необходима по санитарно-гигиеническим нормам, не зависит от этажности и параметров, характеризующих воздухопроницаемость ограждающих конструкций, и зависит от вентилируемого объема помещений и расчетных параметров воздуха.

Проведем анализ формулы (3) по определению инфильтрации и найдем приведенный инфильтрационный коэффициент теплопередачи здания.

$$\hat{E}_{\dot{t}o} = \tilde{n} \cdot \hat{e}_{\dot{t}o} \cdot V_{BH} \cdot \rho \cdot \hat{e} \cdot \frac{\hat{e}_\alpha}{V_H} \quad (4)$$

где \tilde{n} – коэффициент учета влияния встречного потока в конструкции, равный 0,7;

c – удельная теплоемкость воздуха, равная $0,28 \text{ Вт}/\text{кг}\cdot\text{град}$;

$K_{\text{вент}}$ – кратность воздухообмена исходя из удельного нормативного расхода воздуха $3\text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 жилых помещений – 1,11 при высоте жилых помещений 2,7 м;

ρ – плотность внутреннего воздуха, равная $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$;

$K_{\text{ж}}$ – коэффициент, учитывающий площадь пола жилых помещений и кухонь от общей площади квартир, принятый равным 0,7;

V_{BH} – внутренний отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждающих конструкций и с вычетом объема внутренних стен и перегородок, м^3 ;

$$V_{BH} = V_H \cdot \beta_v \quad (5)$$

β_v – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающая объем наружных и внутренних ограждающих конструкций, принятый равным 0,85;

V_H – наружный строительный объем здания, измеренный по наружным поверхностям, соприкасающимся с наружным воздухом, м^3 .

С учетом формулы (5) формула по определению $K_{\text{инф}}$ примет вид

$$\hat{E}_{\dot{t}o} = \tilde{n} \cdot \hat{e}_{\dot{t}o} \cdot \beta_v \cdot \rho \cdot \hat{e} \cdot \hat{e}_\alpha ; [\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot \text{град}]$$

или в числовом значении при подставлении всех известных значений будет равна независимо от этажности и вида наружной ограждающей конструкции

$$K_{\text{инф}} = 0,24 \cdot 1,11 \cdot 0,85 \cdot 1,2 \cdot 0,7 \cdot 0,7 = 0,155 \text{ Вт}/\text{м}^3 \cdot \text{град}$$

Предлагаемая различными учреждениями и авторами [5] методика определения основных теплопотерь зданий базируется на трех показателях:

1. Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха, $^0\text{С}$.
2. Объем отапливаемого здания, м^3 .
3. Теплотехнические характеристики (теплозащитные свойства) ограждающих конструкций.

И, в общем виде, формула для определения потерь теплоты зданиями выглядит следующим образом:

$$Q_o = q_o \cdot V \cdot \Delta t \quad (6)$$

Здесь q_o - удельная отопительная характеристика зданий, характеризующая теплопотери здания при $\Delta t = 1^\circ\text{C}$ на 1 м^3 объема (Вт/град).

В основном, при определении общих теплопотерь здания в существующих методиках для жилых зданий под удельной отопительной характеристикой подразумевается суммарная тепловая характеристика здания с учетом инфильтрационных потерь через ограждающие конструкции.

В действующей методике не отражены:

1. Характер строительства, связанный с сохранением вечномерзлого состояния грунтов - проветриваемость здания снизу. К примеру, теплопотери однотипного здания построенного в г. Ленске с подвалом, заглубленным в грунт, и построенного в с. Сунтар с проветриваемым подпольем будут неравны. Такая же ситуация с зданиями с техэтажом, с подвалом и теплым чердаком.

2. Нет четкого определения учета поступлений теплоты в здание от транзитных трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения. В зданиях с техническими этажами эти поступления теплоты достаточно значительны и их надо учитывать;

3. Изменения теплозащитных свойств материалов ограждающих конструкций, не учтенные при конструировании свойств материалов и конструкций, такие, как усадка, появление микротрещин при рабочих условиях эксплуатации конструкций, таких, как переменный температурный, влажностный режим, динамика и статистика которого мало изучены. Сделаны попытки натурных теплофизических исследований ограждающих конструкций, на основе которых предлагаются различные поправочные коэффициенты, устанавливающие зависимость от срока службы ограждающих конструкций.

Результаты последних исследований показывают, что после 30-50 лет эксплуатации начинает сказываться фактор, который можно охарактеризовать как «старения» материалов ограждающей конструкции, связанное с изменением их теплофизических характеристик в сторону ухудшения. Таким образом, возникают две различные причины несоответствия фактических теплотехнических характеристик ограждающих конструкций расчетным, разнесенные во времени.

4. Этажность здания. Контрольные расчеты и анализ действующих проектов жилых зданий показывают, что теплопотери одно- и двухэтажного зданий с одинаковым строительным объемом не одинаковы, теплопотери двухэтажного дома будут больше. То же наблюдается и при сравнении теплопотерь двух зданий с одинаковым объемом, но разной конфигурацией (ближе к квадрату или удлиненному прямоугольнику). Теплопотери здания размерами в плане ближе к квадрату будут значительно меньше при одинаковых теплотехнических характеристиках ограждающих конструкций;

5. Учет климатических особенностей местности.

Все недостатки существующей методики связаны, что они изначально были разработаны как инструмент для усредненного расчета потребности в тепле и топливе при планировании добычи и завоза топлива для народнохозяйственных нужд. Но произошедшие в последние годы в стране и в нашей республике изменения в хозяйственных отношениях требуют более корректного к действительности определения теплопотребления и расходов топлива на выработку тепловой энергии. Это связано жесткими требованиями, сложившимися при взаиморасчетах между поставщиками тепловой энергии и потребителями. Сверхнормативное потребление тепловой энергии связано с

дополнительными материальными и финансовыми затратами, что объяснимо увеличением расходов на транспортировку теплоносителя, сверхнормативных потерь теплоты.

Уточнения методика выполнена с учетом, всех замечаний приведенных выше:

1. Определено влияние на теплопотери здания его типы.

2. Учтены этажность здания.

3. Определено влияние формы здания.

4. Внесено предложение по учету ветрового напора в местностях с большими фактическими скоростями в холодный период года.

Предлагается следующая методика определения q_o - удельной отопительной характеристики здания, которая определяется по следующей формуле:

$$q_o = q_{TP} + q_{\dot{\epsilon}i\dot{o}} - q_{\dot{\epsilon}i\dot{o}} \quad (7)$$

где q_{TP} - усредненный удельный расход теплоты на трансмиссионные потери через ограждающие конструкции [Вт/(м³·град)], которая определяется по формуле

$$q_{\dot{O}D} = \hat{E}_{i\dot{o}} \cdot \hat{E}_{\dot{\epsilon}} \cdot \beta \quad (8)$$

где $K_{пр}$ - удельный приведенный коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций (табл. 1).

K_k - коэффициент компактности здания определяемый по формуле $\hat{E}_{\dot{\epsilon}} = \frac{S_H}{V_H}$;

При отсутствии данных по зданию коэффициент компактности K_k следует определять по следующим формулам:

Для жилых зданий:

Для одноэтажных зданий:

$$\hat{E}_{\dot{\epsilon}} = 0,541 + 1,602 \frac{1}{\sqrt[4]{V_H}} + 9,250 \cdot \frac{1}{\sqrt[4]{V_H^3}}$$

Для двухэтажных зданий:

$$K_k = 0,303 + 1,308 \frac{1}{\sqrt[4]{V_H}} + 20,183 \cdot \frac{1}{\sqrt[4]{V_H^3}}$$

Для трехэтажных зданий:

$$K_k = 0,211 + 1,170 \frac{1}{\sqrt[4]{V_H}} + 32,473 \cdot \frac{1}{\sqrt[4]{V_H^3}}$$

Для четырехэтажных зданий:

$$K_k = 0,161 + 1,083 \frac{1}{\sqrt[4]{V_H}} + 45,785 \cdot \frac{1}{\sqrt[4]{V_H^3}}$$

Для пятиэтажных зданий:

$$K_k = 0,131 + 1,021 \frac{1}{\sqrt[4]{V_H}} + 59,925 \cdot \frac{1}{\sqrt[4]{V_H^3}}$$

Для зданий шесть и больше этажей:

$$K_k = 0,67 \cdot \frac{1}{n} + 0,68 \frac{1}{\sqrt[4]{V_H}} + 17,66 \cdot \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{V_H^3}{n^3}}}$$

где n – количество этажей;

S_H - поверхность стен отапливаемых помещений по наружному обмеру;

V_H - объем здания по наружному обмеру;

β - поправочный коэффициент (табл. 2).

$q_{инф}$ - приведенный удельный расход теплоты на подогрев инфильтрационного воздуха (Вт/(м³·град)), принимается равным 0,169 Вт/[м³·°C];

$q_{быт}$ - удельные бытовые тепловыделения жилого здания (табл. 3), Вт/[м³·°C].

Таблица 1. Значение $K_{пр}$ – удельный приведенный коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций здания [$Вт/м^2 \cdot ^\circ C$]

t_n^p	Этажность						
	1	2	3	4	5	9	16
-30	1,027	1,128	1,199	1,254	1,294	1,451	1,562
-35	0,949	1,047	1,113	1,120	1,204	1,355	1,458
-40	0,888	0,983	1,048	1,098	1,134	1,276	1,377
-45	0,833	0,923	0,987	1,034	1,070	1,209	1,305
-50	0,786	0,873	0,934	0,983	1,014	1,150	1,244
-55	0,679	0,830	0,891	0,934	0,966	1,098	1,190
-60	0,709	0,793	0,851	0,895	0,926	1,069	1,143

Таблица 2. Поправочный коэффициент на компоновку здания

Этажность	1	2	3	4	5	9	16
	С техническим этажом с проветриваемым подпольем.	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97
С теплым чердаком.	0,94	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,99
Дом с подвалом по грунту со световыми проемами.	0,88	0,91	0,92	0,93	0,95	0,97	0,98
С теплым чердаком и подвалом по грунту со световыми проемами.	0,83	0,88	0,89	0,91	0,93	0,95	0,97

Таблица 3. Теплопоступления от электроприборов, освещения, людей и других источников, ($Вт/м^2 \cdot ^\circ C$)

t_n^p	-30	-35	-40	-45	-50	-55	-60
$q_{быт}$	0,036	0,033	0,030	0,028	0,026	0,024	0,022

Для зданий с техническим этажом и с подвалом учитываются потери теплоты от прокладываемых в них трубопроводов, которые поступают в эти помещения (табл. 4 и 5).

Таблица 4. Теплоотдача стальных труб без изоляции горизонтальной или вертикальной прокладки, [$Вт/м^2$]

t_b , $^\circ C$	Диаметр трубы, мм.		
	до 32	От 40 до 108	От 133x4 до 159x4,5
5	1128	988	1018
14	1070	837	837
15	942	826	826
16	930	814	814
18	901	785	785
20	872	762	762
25	768	669	669
30	709	611	611

Таблица 5. Усредненная теплоотдача стальных труб с изоляцией в техэтажах и подвалах

ϕ_n	q Вт/ $^{\circ}$ С	Вт/ м $^{\circ}$ С
40	0,42	0,35
50	0,49	0,46
70	0,59	0,58
80	0,67	0,58
100	0,80	0,70
125	0,86	0,93
150	0,99	0,93
200	1,09	1,28

Предлагаемая методика определения удельной отопительной характеристики позволит корректно определить теплопотери жилого здания.

Литература

1. Нормирование расхода теплоты и топлива на отопление и горячее водоснабжение зданий в Якутской АССР. –Якутск: Госкомиздат ЯАССР, 1987. – 110 с.
2. ТСН23-343-2002 Республики Саха (Якутия). Теплозащита и энергопотребление жилых и общественных зданий/ Минстрой РС(Я). –Якутск, 2002. – 67 с.
3. СНиП 2.04.05-91*.Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР.- 1999. – 72 с.
4. Ливчак В.И. Энергоэффективные здания – в московское массовое строительство // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение строительная теплофизика. – 1999. №8. -с.13-20.
5. Кылатчанов А.П., Попов В.Л. Методы нормирования теплотехнических характеристик здания. –Якутск: ГУП «Полиграфист», 2000. – 31 с.