Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт
метрологической службы»
(ФГУП "ВНИИМС")
Федерального Агентства по техническому регулированию и
метрологии

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

Объем газа.
Типовая методика выполнения измерений счетчиками газа без температурной компенсации

МИ 2721 - 2007

Москва
2007

gost.e-ecolog.ru

ПРЕДИСЛОВИЕ

1 РАЗРАБОТАНА	ФГУП "ВНИИМС"
ИСПОЛНИТЕЛИ:	Беляев Б.М.; Вересков А.И.
2 УТВЕРЖДЕНА	ФГУП "ВНИИМС" 10 января 2007 г.
3 ЗАРЕГИСТРИРОВАНА	ФГУП "ВНИИМС" 12 января 2007 г.

4 Взамен МИ 2721-2005

Внесены изменения № 1 от 17.12.2007 г.

Настоящая рекомендация не может быть частично или полностью воспроизведена, тиражирована и (или) распространена без разрешения ФГУП "ВНИИМС".

СОДЕРЖАНИЕ

1 Область применения 1

2 Нормы погрешности измерений 2

3 Нормативные ссылки 2

4 Метод измерений 2

5 Средства измерений и вспомогательная информация 5

6 Условия измерений 6

7 Выполнение измерений 6

8 Обработка результатов измерений 7

9 Контроль точности 7

Приложение А (справочное).
Термины, определения и обозначения 8

Приложение Б (рекомендуемое).
Теоретические основы методики 9

Приложение В (рекомендуемое).
Пределы погрешности измерений 10

Приложение Г (обязательное).
Формулы для расчета среднего значения и среднего квадратического отклонения температуры за месяц 11

Приложение Д (рекомендуемое).
Расчет температуры газа, проходящего через счетчик, установленный в помещении 12

Приложение Е (рекомендуемое).
Данные для реализации методики в регионе. Результаты практических расчетов 20

Приложение Ж (справочное).
Библиография 26

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений. Объем газа. Типовая методика выполнения измерений счетчиками газа без температурной компенсации	МИ 2721 - 2007

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1 Настоящая рекомендация распространяется на объем газа и устанавливает типовую методику выполнения его измерений (МВИ) при помощи счетчиков газа, не имеющих в своей конструкции корректоров по температуре и (или) давлению.

Рекомендация распространяется на объемные счетчики газа, устанавливаемые как вне, так и внутри жилых либо нежилых помещений, при условии отсутствия ответвлений от трубопровода на участке от ввода в здание до счетчика.

1.2 Рекомендация предназначена для приведения объема газа по показаниям счетчиков без корректоров к значениям температуры и давления по ГОСТ 2939 (далее - стандартные условия) с использованием поправочных (температурных) коэффициентов.

1.3 Поправочные коэффициенты применяют в соответствии с подпунктом 94 пункта XII "Особенности газоснабжения потребителей по присоединенной сети" Постановления Правительства РФ от 23 мая 2006 г. № 307 "О порядке предоставления коммунальных услуг гражданам".

1.4 Рекомендация разработана с учетом требований ГОСТ Р 8.563, МИ 2525, "Правил учета газа", зарегистрированных в Минюсте России 15 ноября 1996 г. под № 1198.

2 НОРМЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 Предел допускаемой относительной погрешности измерения объема газа, приведенного к стандартным условиям, с использованием показаний счетчика за месяц определяется в соответствии с формулой (В.1) Приложения В.

2.2 Предел допускаемой относительной погрешности измерения объема газа, приведенного к стандартным условиям, полученного в регионе за месяц с использованием показаний счетчиков, равен 1 %.

2.3 Предел допускаемой относительной погрешности коэффициента применительно к показаниям конкретного счетчика за месяц равен 2 %.

2.4 Предел допускаемой относительной погрешности коэффициента применительно к объему газа, полученному в регионе за месяц с использованием показаний счетчиков, равен 1 %.

3 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей рекомендации использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 2939-63 Газы. Условия для определения объема

ГОСТ Р 50818-95 Счетчики газа объемные диафрагменные. Общие технические требования и методы испытаний

ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях

ГОСТ 30319.3-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств по уравнению состояния

ГОСТ Р 8.563-96 ГСИ. Методики выполнения измерений

МИ 2525-99 ГСИ. Рекомендации по метрологии, утверждаемые Государственными научными метрологическими центрами Госстандарта России

4 МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ

4.1 Расчет поправочных коэффициентов к измеренному объему газа

4.1.1 При проведении расчетов коэффициентов учитываются условия установки и эксплуатации счетчиков, для чего счетчики подразделяют на группы. Также учитывают специфику региона (метеорологические и географические условия, структуру потребления газа). Расчет рекомендуется проводить с использованием программы для ЭВМ.

4.1.2 Поправочные коэффициенты для приведения к стандартной температуре объема газа, проходящего за месяц через счетчик без корректора по температуре, рассчитывают по формуле

$$K_t = \frac{T_c}{T}\left(1 - \frac{F'(T)S^2}{F(T)T}\right) \qquad (1)$$

4.1.2.1 Для группы счетчиков, установленных вне помещения, в формуле (1) принимают:

$T_c = 293{,}15$ К,

T, S – соответственно среднее значение и среднее квадратическое отклонение абсолютной температуры наружного атмосферного воздуха за месяц, К, по данным Росгидромета,

F(T) - функция потребления, описывающая зависимость потребления газа в регионе от температуры атмосферного воздуха, $м^3$, см. п. 5,

$F'(T)$ - производная функции F(T), $м^3/К$.

Примечание - Между потреблением газа в регионе и температурой наружного атмосферного воздуха существует обратная зависимость. Учет этого обстоятельства при расчете поправочного коэффициента по формуле (1) позволяет устранить дополнительную погрешность, возникающую из-за колебаний температуры и неравномерности потребления газа в течение месяца.

В случае, если функция F(T) не дифференцируема, а также при S, превосходящем 4 К, для расчета поправочного коэффициента используется процедура численного интегрирования, реализующая формулу (1), в программе для ЭВМ.

4.1.2.2 Для счетчиков, установленных в помещениях, K_t рассчитывают по формуле (1), в которой T, S принимают равными соответственно среднему значению и среднему квадратическому отклонению абсолютной температуры газа в рабочей зоне счетчика за месяц.

Значение Т рассчитывают согласно Приложению Д, значение S - в соответствии с Приложением Г. Исходными данными для расчета Т служат данные региональных отделений Росгидромета по температуре наружного воздуха. Учитывают нормы на температуру воздуха в помещениях по ГОСТ 30494, характеристики здания, установки и эксплуатации счетчика, состава газа. Расчет основан на методах теории теплопередачи.

В зависимости от характеристик установки счетчика (диаметр и длина трубопровода), эксплуатации счетчика (потребляемый объем газа), здания (теплопроводность материала стены) счетчики подразделяют на группы в соответствии с Приложением Е. Для каждой группы получают значение поправочного коэффициента.

Примечание - При определении границ группы руководствуются следующим правилом. Значение общего для группы счетчиков поправочного коэффициента берут таким, чтобы оно было меньше среднего значения коэффициента (взятого по множеству числовых значений характеристик в границах, определяющих группу).

Правило отнесения неопределенности в пользу потребителя принято в настоящей рекомендации в случаях наличия неопределенности исходных данных для расчета.

Данные, используемые для расчетов, формируют в соответствии с п. 5 и Приложением Е.

4.1.3 Поправочные коэффициенты для приведения к стандартному давлению объема газа, проходящего за месяц через счетчик без корректора по давлению, рассчитывают по формуле

$$K_p = (P_{атм} + P_{изб},) / P_c , \qquad (2)$$

где $P_c = 101{,}3$ кПа,

$P_{атм}$, $P_{изб}$ - соответственно средние значения атмосферного давления и избыточного давления газа за месяц, кПа.

4.1.4 Поправочные коэффициенты для приведения к стандартным условиям объема газа, проходящего за месяц через счетчик без корректоров по температуре и давлению, для каждой группы счетчиков рассчитывают по формуле

$$K_c = K_t K_p \qquad (3)$$

При наличии в конструкции счетчика корректора по температуре (давлению) в формуле (3) K_t (K_p) следует принять равным единице.

4.1.5 Полученные значения коэффициентов округляют до сотых долей.

4.2 Расчет объема газа, приведенного к стандартным условиям, прошедшего через счетчик за месяц

4.2.1 При определении объема газа учитываются условия установки и эксплуатации счетчика. Объем газа, приведенный к стандартным условиям, рассчитывают по формуле

$$V_c = K_c V, \qquad (4)$$

где V - потребленный за месяц объем газа по показаниям счетчика, $м^3$,
K_c - коэффициент для приведения к стандартным условиям объема газа, проходящего через счетчик за месяц, для соответствующей группы счетчиков.

4.3 Объем газа в стандартных условиях, полученный в регионе за месяц с использованием показаний счетчиков, определяют суммированием объемов V_c, определенных п. 4.2, по всем счетчикам.

5 СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

5.1 Измерения объема газа проводят счетчиками газа, зарегистрированными в Государственном Реестре средств измерений РФ и поверенными в органах Государственной метрологической службы.

5.2 Средняя температура наружного атмосферного воздуха, среднее квадратическое отклонение температуры атмосферного воздуха, средние значения атмосферного давления и избыточного давления газа в рабочей зоне счетчика за месяц.

5.3 Данные по температуре могут быть получены непосредственно, либо рассчитаны по значениям ежедневной среднесуточной температуры в соответствии с Приложением Г. Данные по температуре возду-

ха и атмосферному давлению заверяют в региональных отделениях Росгидромета. Значения среднего избыточного давления газа в рабочей зоне счетчика определяют по данным поставщика газа.

5.4 Вид функции потребления газа в регионе от температуры атмосферного воздуха устанавливают в результате статистической обработки данных о фактической среднемесячной температуре атмосферного воздуха и потреблении газа (в среднем на один счетчик). Данные должны быть собраны по месяцам за период продолжительностью не менее двух лет, предшествующий измерениям (Приложение Е). Статистическую обработку данных проводит ФГУП "ВНИИМС". Ввиду возможного изменения структуры потребления газа в регионе эта информация обновляется не реже одного раза в два года. Период обновления может быть увеличен по результатам анализа полученных данных.

5.5 Методика выполнения измерений реализуется для региона в виде программы для ЭВМ "Коррекция измерений объема газа", использующей функцию потребления газа в виде подпрограммы, которую разрабатывает ФГУП "ВНИИМС".

6 УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

6.1 Климатические условия эксплуатации счетчиков газа должны соответствовать требованиям, установленным в нормативной документации.

7 ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 Измерения выполняют счетчиками газа согласно указаниям, содержащимся в паспортах на счетчики фирм-изготовителей.

7.2 Формируют вспомогательную информацию в соответствии с п. 5, вид функции потребления газа в регионе от температуры воздуха, данные для расчета температуры газа для счетчиков в помещении, приведенные в Приложении Е.

8 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Для получения значений поправочных коэффициентов к объему газа, значения измеренного объема газа, приведенного к стандартным условиям, данные, перечисленные в п. 5 и Приложении Е, обрабатывают по методу, описанному в п. 4, используя программу для ЭВМ "Коррекция измерений объема газа".

9 КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ

9.1 Контроль точности измерений счетчиками газа проводит метрологическая служба поставщика газа.

9.2 Контроль правильности сбора данных и компьютерных расчетов проводит ФГУП "ВНИИМС".

9.2.1 Процедура контроля проводится два раза в год.

Приложение А
(справочное)

Термины, определения и обозначения

А.1 **поправочный коэффициент для приведения к стандартным условиям измеренного объема газа k_c:** Отношение измеренного объема газа, приведенного к стандартным условиям, к измеренному объему газа.

А.2 **расчетное значение поправочного коэффициента для приведения к стандартным условиям измеренного объема газа K_c:** Значение, рассчитанное по имеющимся данным по температуре и давлению за отчетный период.

А.3 **расчетное значение поправочного коэффициента для приведения к стандартной температуре (давлению) измеренного объема газа, K_t (K_p):** Значение, рассчитанное по имеющимся данным по температуре (давлению) за отчетный период.

Приложение Б
(рекомендуемое)

Теоретические основы методики

Б.1 Поправочный коэффициент к измеренному объему газа

Поправочный коэффициент для приведения к стандартным условиям измеренного объема газа, k_c, равен

$$k_c = v_c / v, \qquad (Б.1)$$

где v_c - измеренный объем газа, приведенный к стандартным условиям, равный

$$v_C = \int_{\tau_H}^{\tau_K} q_C(\tau)d\tau = \frac{T_C}{P_C}\int_{\tau_H}^{\tau_K} \frac{q(\tau)P(\tau)}{T(\tau)}d\tau, \qquad (Б.2)$$

где v - измеренный объем газа, равный

$$v = \int_{\tau_H}^{\tau_K} q(\tau)d\tau, \qquad (Б.3)$$

где $\tau_н$, $\tau_к$ - начальный и конечный моменты времени, с,

$q(\tau)$ - мгновенный объемный расход газа, $м^3/с$,

$q_c(\tau)$ - мгновенный объемный расход газа, приведенный к стандартным условиям,

$T_c = 293{,}15$ К - температура газа при стандартных условиях,

$P_c = 101{,}3$ кПа - давление газа при стандартных условиях,

$T(\tau)$ - температура газа в момент времени τ, К,

$P(\tau)$ - давление газа в момент времени τ, кПа.

Примечание - В формуле (Б.2) отсутствует коэффициент сжимаемости т. к. для рассматриваемого диапазона изменения влияющих параметров значение коэффициента сжимаемости отличается от 1 на пренебрежимо малую величину.

Приложение В
(рекомендуемое)

Пределы погрешности измерений

В.1 Пределы погрешности измерений объема газа, приведенного к стандартным условиям, определяются пределами погрешности счетчиков и погрешности определения поправочного коэффициента

В.1.1 Предел допускаемой относительной погрешности измерения объема газа, приведенного к стандартным условиям, с использованием показаний счетчика за месяц определяется по формуле

$$\delta_п = (\delta_с^2 + \delta_к^2)^{0,5}, \qquad (В.1)$$

где $\delta_с$ - предел допускаемой относительной погрешности счетчика используемого типа,
$\delta_к$ - предел допускаемой относительной погрешности поправочного коэффициента $К_с$.

В.1.2 Предел допускаемой относительной погрешности измерения объема газа, приведенного к стандартным условиям, полученного в регионе за месяц с использованием показаний счетчиков, равен 1 %.

В.2 Пределы допускаемой относительной погрешности поправочного коэффициента определяются на основании данных о погрешностях значений величин, используемых при его расчете - температуры, давления, функции потребления газа

В.2.1 Предел допускаемой относительной погрешности коэффициента применительно к показаниям конкретного счетчика за месяц равен 2 %.

В.2.2 Предел допускаемой относительной погрешности коэффициента применительно к объему газа, полученному в регионе за месяц с использованием показаний счетчиков, равен 1 %.

Приложение Г
(обязательное)

Формулы для расчета среднего значения и среднего квадратического отклонения температуры за месяц

Среднюю температуру наружного воздуха за месяц рассчитывают по формуле

$$T_{нв} = (\Sigma T_j) / n , \qquad (Г.1)$$

где T_j - средняя температура за j-е сутки, К,
n - число дней в месяце,
j принимает целые значения от 1 до n.

Среднее квадратическое отклонение температуры наружного воздуха рассчитывают по формуле

$$S_{нв} = [\Sigma (T_j - T_{нв})^2 / (n - 1)]^{0,5} , \qquad (Г.2)$$

Среднее квадратическое отклонение температуры газа в рабочей зоне счетчика, установленного в помещении, рассчитывают по формуле

$$S_г = (T_п - T_{сч})(T_п - T_{нв})^{-1} S_{нв} , \qquad (Г.3)$$

где $T_п$ - средняя температура воздуха в помещении,
$T_{нв}$, $S_{нв}$ - по формулам (Г.1), (Г.2),
$T_{сч}$ - средняя температура газа в счетчике, рассчитанная по Приложению Д.

Приложение Д
(рекомендуемое)

Расчет температуры газа, проходящего через счетчик, установленный в помещении

Д.1 Расчет средней за месяц температуры газа в рабочей зоне счетчика, установленного в помещении

Расчет температуры газа проводится в соответствии с данными ГОСТ 30319.3, ГОСТ 30494, [5, 6] с использованием методов теории теплопередачи [1 - 4].

Изменение температуры газа в трубопроводе обусловлено теплообменом между потоком газа и окружающей средой. При расчете температуры газа для участка трубопровода внутри стены здания рассматривают систему теплопередачи между воздухом и газом через стену здания, футляр (гильзу), трубопровод. При рассмотрении процесса теплообмена внутри помещения температуру газа в начале участка трубопровода от стены до счетчика принимают равной температуре газа в конце участка, проходящего в стене; температуру газа в конце участка (в счетчике) рассчитывают в соответствии с известными результатами и формулами теплопередачи.

Д.2 Процесс теплообмена между потоком газа в трубопроводе и окружающей средой внутри помещения

Для расчета процесса теплообмена используются известные результаты. В [1] процесс представлен дифференциальным уравнением, описывающим изменение температуры газа в зависимости от расстояния X по трубопроводу от точки его выхода на внутренней поверхности стены:

$$T' = A(T_п - T), \qquad (Д.1)$$

где T – температура газа, К,

T' - производная температуры газа по x, К/м,

$T_п$ - температура среды, окружающей участок трубопровода (температура воздуха в помещении), К,

A – характеристика интенсивности процесса теплопередачи между газом и воздухом через трубопровод, $м^{-1}$, рассчитываемая по формуле

$$A = \frac{\pi K}{G c_p}, \qquad (Д.2)$$

где K – линейный коэффициент теплопередачи, Вт/(м·К),
c_p - изобарная удельная теплоемкость газа, Дж/(кг·К),
G - массовый расход газа, кг/сек, определяемый по формуле

$$G = V_c \rho_c (\tau_к - \tau_н)^{-1}, \qquad (Д.3)$$

где V_c - объем газа при стандартных условиях за месяц, $м^3$,
ρ_c - плотность газа при стандартных условиях, $кг/м^3$,
$\tau_к - \tau_н$ - продолжительность месяца, с.

Решение уравнения (Д.1) с начальным условием $T_{сп}$ дает формулу для температуры газа в конце участка трубопровода [1]:

$$T_{сч} = T_п + (T_{сп} - T_п)\exp(-AL_п), \qquad (Д.4)$$

где $T_{сп}$ - температура газа в начале участка трубопровода (на границе стены и помещения), К,
$T_{сч}$ - температура газа в конце участка трубопровода (в счетчике), К,
$L_п$ - длина участка трубопровода внутри помещения (расстояние по трубопроводу от стены до счетчика), м.

Коэффициент теплопередачи K рассчитывается по формуле для многослойной цилиндрической стенки [1 - 4]. Принимая во внимание, что коэффициент теплоотдачи между газом и трубопроводом более чем на порядок больше коэффициента теплоотдачи между трубопроводом и воздухом, а также высокую теплопроводность стали, допускается использовать формулу [1, 3]:

$$K = \alpha D_{нт}, \qquad (Д.5)$$

где α - коэффициент теплоотдачи между наружной поверхностью трубопровода и воздухом помещения, $Вт/(м^2 \cdot К)$,
$D_{нт}$ - наружный диаметр трубопровода, м.

При расчете α учитываются два вида теплообмена – конвективный и излучением. Рекомендуется определять α по [7]. Допускается принимать α = 11 Вт/(м^2·К) в соответствии с [6].

Плотность газа при стандартных условиях ρ_c определяют по данным поставщика газа. Изобарную удельную теплоемкость газа c_p - по ГОСТ 30319.3, учитывая состав газа в виде объемных долей метана, азота и диоксида углерода, а также среднюю температуру газа в трубопроводе [1].

При наличии креплений трубопровода к стенам помещения тепловой поток через них учитывается коэффициентом к длине трубопровода $k_п$ [7].

Рекомендуется также учитывать неравномерность потребления газа с помощью коэффициента использования (доли суток, в течение которой используется газ), определяемого по формуле, приведенной в [11]:

$$k_и = 0{,}48 - 0{,}0074t\,, \qquad (Д.6)$$

где t - средняя за месяц температура наружного атмосферного воздуха, °С.

Коэффициент использования применяют умножением правой части формулы (Д.3) на $k_и^{-1}$.

Д.3 Процесс теплообмена между газом и окружающей средой при прохождении газа по трубопроводу внутри стены здания

При расчете температуры газа для участка трубопровода внутри стены принимают температуру газа в начале участка трубопровода равной температуре наружного атмосферного воздуха. Процесс теплообмена между воздухом и газом через элементы системы теплопередачи (стену здания, футляр, прослойку между футляром и трубопроводом, трубопровод) требует специального рассмотрения. Эта задача, в отличие от рассмотренного выше процесса теплообмена внутри помещения, не имеет готового решения в аналитическом виде. Для решения подобных задач используют численные методы.

Особенностью данной задачи является отсутствие точных данных о свойствах системы трубопровод-футляр-стена. Известно, что трубопровод и футляр изготовлены из стали, между ними в кольцевом зазоре находится слой воздуха, изолированный с двух сторон каким-либо материалом от воздуха снаружи и внутри здания.

Примечание - Хотя размеры и теплопроводность отдельных элементов системы известны, что в принципе позволяет провести теоретические расчеты, однако результаты расчетов могут оказаться неадекватными. Влияние контактных термических сопротивлений, вызванных наличием зазоров между футляром и стеной, и других особенностей рассматриваемой системы теплопередачи, не поддается оценке аналитическими методами.

Для решения задачи были проведены натурные эксперименты по измерению температуры газа в трубопроводе внутри помещения на объектах газопотребления в ряде регионов. Условия проведения эксперимента и требования к составу данных представлены в Приложении Е. Основной целью экспериментов является получение оценок параметров, характеризующих теплопередачу. В результате в сочетании с использованием численных методов получена модель, позволяющая рассчитать температуру газа в рабочей зоне счетчика в зависимости от влияющих условий.

Д.3.1 Моделирование процесса теплообмена численным методом.

Следуя [2, 4], для решения задачи трехмерной теплопроводности область пространства, в которой протекает процесс, разбивают на элементарные объемы. При стационарном режиме теплообмена для каждого объема составляют уравнение баланса теплоты, согласно которому суммарный тепловой поток к нему от соседних объемов равен нулю. Тепловой поток между соседними объемами определяется их формой и взаимным расположением, разностью температур. Учитывают граничные условия - тепловые потоки между поверхностями и окружающей средой. Полученную систему уравнений решают относительно неизвестных средних температур элементарных объемов.

На Рис. 1 Приложения Е схематически изображена верхняя часть сечения трубопровода и стены плоскостью, проходящей через ось трубопровода (ось X). Ввиду наличия осевой симметрии трехмерного температурного поля изотермические линии представляют собой окружности с центром на оси X, расположенные в плоскостях, перпендикулярных оси X. В качестве элементарных объемов взяты цилиндрические кольца, внутри которых проходят изотермические линии (прямоугольники, изображенные на Рис. 1, получены сечением колец плоскостью, проходящей через ось X). Размер (толщина) кольца взят пропорциональным его среднему диаметру. (В соответствии с общими

рекомендациями по выбору шага численных процедур [8] шаг следует взять обратно пропорциональным величине температурного градиента, который в данном случае обратно пропорционален диаметру.)

При расчете тепловых потоков между соседними объемами используются известные формулы теплопередачи через плоскую либо цилиндрическую стенки (на границе футляра и стены – для многослойной цилиндрической стенки), на границе поверхности и газообразной среды [2 - 4]. Например, тепловой поток к кольцу, отмеченному на Рис. 1 индексами (i, j), от внутреннего соседнего кольца (i-1, j) равен

$$Q_1 = \frac{2\pi\lambda\, l(t_{(i-1)j} - t_{ij})}{\ln\dfrac{d_i}{d_{i-1}}}, \qquad (Д.7)$$

а от левого соседнего кольца (i, j-1) - равен

$$Q_3 = \frac{\pi\lambda}{4l}\left(d_{iн}^2 - d_{iв}^2\right)\left(t_{i(j-1)} - t_{ij}\right), \qquad (Д.8)$$

где λ - коэффициент теплопроводности материала стены, Вт/(м·К),

l - ширина колец по оси X, м,

d_i - средний диаметр кольца (i, j), м,

d_{i-1} - средний диаметр кольца (i-1, j), м,

$d_{iн}$, $d_{iв}$ – соответственно наружный и внутренний диаметры кольца (i, j), м,

t_{ij}, $t_{(i-1)j}$, $t_{i(j-1)}$ - температуры средних точек соответствующих прямоугольников, °С.

Оценка неизвестного эквивалентного коэффициента теплопроводности $\lambda_э$ системы трубопровод-футляр, характеризующего эту систему в целом, производится на основании результатов натурных экспериментов способом, изложенным в п. Д.3.3.

Число элементарных объемов берется таким, чтобы при дальнейшем увеличении их числа расчетное температурное поле практически не изменялось. Граничные условия учитывают следующим образом. Задаются значения температуры воздуха снаружи и внутри помещения (см. Рис. 1), коэффициенты теплоотдачи $\alpha_н$, $\alpha_в$ – соответственно для наружной и внутренней поверхностей стены [6, 7]. По формуле для

расчета температуры внутри плоской стенки, приведенной в [2 - 4], рассчитывается линейный температурный профиль в стене на удалении от трубопровода (без учета возмущения температурного поля, вносимого трубопроводом, верхний ряд чисел на Рис. 1). Рассчитывается температура газа в трубопроводе, как функция переменной x, способом, изложенным в п. Д.3.2. Температура внутренней поверхности трубопровода принимается равной температуре газа [1].

Для каждого кольца уравнение баланса теплоты имеет вид

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0 \qquad (Д.9)$$

Всего таких уравнений 30 ($1 \le i \le 5$, $1 \le j \le 6$). Полученную систему уравнений с 30 неизвестными t_{ij} решают с помощью какого-либо метода решения систем линейных уравнений со многими неизвестными [8].

Решение, представленное в примере расчета Приложения Е, получено минимизацией суммы квадратов левых частей уравнений (Д.9). Значения необходимых для расчета параметров даны в Приложении Е.

Д.3.2 Уравнение для температуры газа.

Дифференциальное уравнение, связывающее температуру газа в трубопроводе с температурой цилиндрической поверхности стены, граничащей с футляром, имеет вид

$$T' = A(T_{нс} + bx - T), \qquad (Д.10)$$

где T – температура газа, К,

T' - производная температуры газа по x, К/м,

$T_{нс}$ - температура цилиндрической поверхности стены при x = 0 (на границе с внешней поверхностью стены), К,

b – коэффициент линейной зависимости температуры цилиндрической поверхности стены от x,

A – характеристика интенсивности процесса теплопередачи между газом и стеной через систему трубопровод-футляр, $м^{-1}$, рассчитываемая по формуле (Д.2), в которой следует взять K - линейный коэффициент теплопередачи, Вт/(м·К), определяемый по формуле для цилиндрической стенки [1 - 4]:

$$K = \frac{2\lambda_э}{\ln \frac{D_{нф}}{D_{вт}}}, \qquad (Д.11)$$

где $\lambda_э$ - эквивалентный коэффициент теплопроводности системы трубопровод-футляр, Вт/(м·К),

$D_{нф}$ – наружный диаметр футляра, м,

$D_{вт}$ – внутренний диаметр трубопровода, м.

Коэффициенты линейной зависимости $T_{нс} + bx$ температуры цилиндрической поверхности стены от x получаются аппроксимацией значений расчетного температурного поля.

Решение уравнения (Д.10), полученное методом интегрирования линейного дифференциального уравнения [9], имеет вид

$$T = T_{нс} + bx - bA^{-1} + (T_{нв} - T_{нс} + bA^{-1})\exp(-Ax), \qquad (Д.12)$$

где $T_{нв}$ - температура наружного воздуха, К, начальное условие для решения дифференциального уравнения.

Значение температуры газа в конце участка трубопровода получается подстановкой $x = L_c$ в (Д.12):

$$T_{сп} = T_{нс} + bL_c - bA^{-1} + (T_{нв} - T_{нс} + bA^{-1})\exp(-AL_c), \qquad (Д.13)$$

где L_c - длина участка трубопровода (толщина стены), м.

Расчет температуры газа проводят с помощью итерационной процедуры. На первой итерации, принимая в качестве начального приближения, например, $T_{нс} = T_{нв}$, $b = 10$, рассчитывают температуру газа в трубопроводе по формуле (Д.12). Рассчитывают температурное поле системы трубопровод-футляр-стена численным методом п. Д.3.1. Новые значения коэффициентов $T_{нс}$, b получают аппроксимацией значений расчетного температурного поля. Итерации продолжают до стабилизации температуры газа и расчетного температурного поля. Получают температуру газа в конце участка трубопровода $T_{сп}$ по формуле (Д.13).

Д.3.3 Определение теплопроводности системы трубопровод-футляр.

Оценка неизвестного эквивалентного коэффициента теплопроводности $\lambda_э$ системы трубопровод-футляр, характеризующего эту систему в целом с учетом влияния контактных термических сопротивлений, производится на основании результатов натурных экспериментов.

По данным натурного эксперимента определяют температуру газа $T_{сп}$ в конце участка трубопровода внутри стены. Температура может быть измерена непосредственно либо определена с использованием данных корректора (см. Приложение Е). В последнем случае при известных значениях $T_п$, $T_{сч}$ и других величин в формуле (Д.4) находят $T_{сп}$ из этого уравнения.

Коэффициент теплопроводности определяют как значение $\lambda_э$, при котором расчетная температура газа в конце участка трубопровода внутри стены совпадает с температурой, полученной экспериментальным путем. Это можно сделать следующим способом. Фиксируют некоторое λ. Проводят итерационную процедуру, описанную в п. Д.3.2, получают расчетное значение температуры газа в конце участка трубопровода, соответствующее выбранному λ. Подбирают значение $\lambda_э$, удовлетворяющее указанному выше условию.

В результате обработки данных натурных экспериментов, проведенных на объектах газопотребления, установлено, что $\lambda_э$ в среднем составляет 1 Вт/(м·К), незначительно отличаясь от этого значения, т. е. близко к коэффициенту теплопроводности наиболее распространенных строительных материалов (кирпич, бетон). Поскольку диаметр футляра мал по сравнению с размерами стены, термическое сопротивление системы трубопровод-футляр мало по сравнению с термическим сопротивлением стены и в этом смысле не является определяющим фактором теплопередачи. Тем не менее, как показывают численные расчеты, для соблюдения требуемой точности оно должно быть учтено при определении температуры газа.

Приложение Е
(рекомендуемое)

Данные для реализации методики в регионе. Результаты практических расчетов

Е.1 Данные по потреблению газа и географическим условиям региона

Е.1.1 Данные о фактической среднемесячной температуре наружного атмосферного воздуха и потреблении газа (в среднем на один счетчик) в бытовой сфере за 2 - 3 года, предшествующих разработке программы для ЭВМ.

Пример Е.1

Месяц Год		1	2	...	7	...	12
2005	t, °C $V_{ср}$, м^3	-6 575	-4 601	...	+21 125	...	0 400
2006	t, °C $V_{ср}$, м^3	-10 622	-15 780	...	+19 63	...	+1 409

Общее число месяцев, по которым представлены данные, не менее 24. Должны быть представлены данные по каждому сезону.

При проведении обследований выборка счетчиков должна быть случайной. Количество обследованных счетчиков не менее 50.

Допускается определять объемы по данным о потреблении газа в бытовой сфере по региону (либо климатической территории по п. Е.1.5) в целом.

Е.1.2 Число счетчиков газа без температурной компенсации в регионе N, с указанием приблизительного числа (либо процента) счетчиков N_1 - установленных вне помещений, N_2 - в помещениях.

Пример Е.2

Общее число счетчиков, N, шт.	Установлены вне помещений, N_1, шт.	Установлены в помещениях, N_2, шт.
102000	42000	60000

Е.1.3 Протяженность региона с юга на север. Указывают расстояние по меридиану между крайними южной и северной точками установки счетчиков в регионе, км. При определении места установки счетчиков допускается погрешность в пределах ±30 км.

Е.1.4 Высота места установки счетчиков над уровнем моря. Указывают высоты низшей и высшей точек установки счетчиков в регионе, м. При определении высоты допускается погрешность в пределах ±20 м.

Е.1.5 В случае если протяженность региона с юга на север превышает 300 км, а также в случае если разность высот высшей и низшей точек установки счетчиков в регионе превышает 200 м, поступают следующим образом. Выделяют несколько территорий, в совокупности составляющих весь регион. При этом протяженность каждой территории с юга на север не превышает 300 км, а разность высот высшей и низшей точек установки счетчиков в пределах территории не превышает 200 м.

При определении границ территорий консультируются с ФГУП "ВНИИМС".

Е.2 Дополнительные данные для расчета коэффициентов для счетчиков внутри помещения

Данные используются при определении групп счетчиков в зависимости от характеристик здания, установки и эксплуатации счетчика.

В случае наличия неопределенности при выборе значений параметров, влияющих на величину поправочного коэффициента, и определении групп счетчиков по региону в зависимости от характеристик здания, установки и эксплуатации счетчика руководствуются Примечанием к п. 4.1.2.2.

Группы счетчиков по материалу стены: кирпич, бетон, дерево. Для каждого из указанных материалов коэффициент теплопроводности принимают не менее среднего значения из диапазона, определяемого по справочным данным. При отсутствии конкретных данных для стен из комбинированных материалов принимают коэффициент теплопроводности бетона.

Длину участка трубопровода внутри стены принимают не менее среднего по региону значения толщины стен зданий из соответствующего материала.

Диаметры используемых трубопроводов внутри зданий (с указанием соответствующего диаметра футляра) принимают не менее среднего по региону значения.

Группы счетчиков по длине участка трубопровода внутри помещения рекомендуется определять: до 1 м; более 1 м.

Группы счетчиков по потребляемому объему газа рекомендуется определять: до 5000 м^3/год; более 5000 м^3/год.

Примечание - При выборе граничных значений характеристик, определяющих группы счетчиков по длине участка трубопровода и потребляемому объему газа, могут быть учтены характеристики установки и эксплуатации счетчиков для конкретного региона.

При отсутствии данных по длине участка трубопровода и (или) потребляемому объему газа счетчик относят к группам: по длине участка - более 1 м; по потребляемому объему - до 5000 м^3/год.

Плотность газа при стандартных условиях, состав газа в виде объемных долей метана, азота и диоксида углерода.

В соответствии с ГОСТ 30494 температура воздуха (результирующая) в жилом помещении от 17 °С до 25 °С для холодного периода года (определяемого по температуре наружного атмосферного воздуха не более 8 °С) и от 18 °С до 27 °С для теплого периода (температура наружного воздуха не менее 8 °С).

Е.3 Данные натурных экспериментов по измерению температуры газа в трубопроводе внутри помещения

Е.3.1 Целью экспериментов является проверка соответствия теоретических исследований по температуре газа в трубопроводе внутри помещения, лежащих в основе МВИ, реальным процессам теплопередачи, происходящим на объектах газопотребления, а также получение оценок параметров, характеризующих теплопередачу.

Е.3.2 Условия проведения эксперимента.

Для сбора данных выбирают объект с режимом потребления газа в пределах от 500 до 20000 м^3 в месяц. Давление газа должно соответствовать бытовой сфере потребления (газопровод низкого давления).

Разность температур воздуха внутри и снаружи помещения - не менее 20 °С.

Материал трубопровода и футляра - сталь.

Диаметр футляра - предпочтительно в пределах 100 мм.

Е.3.3 Температура газа $T_{сп}$ в конце участка трубопровода внутри стены может быть измерена непосредственно либо определена с использованием данных корректора способом, указанным в п. Д.3.3.

Объем газа - по показаниям счетчика либо корректора.

Е.3.4 Данные и результаты эксперимента рекомендуется оформлять в виде таблицы Е1.

Е.4 Пример. В таблице Е1 приведены числовые значения величин, использованные в расчете, результаты которого представлены в п. Е.5. Эксперимент был проведен в котельной школы. Данные по объему газа - за сутки, по температуре - среднесуточные.

Таблица Е1

Условное обозначение	Наименование измеряемой величины	Значение
1. $t_п$	Температура воздуха внутри помещения, °С	21,0
2. $t_{нв}$	Температура воздуха снаружи помещения, °С	-16,6
3. $L_п$	Длина участка трубопровода от стены до корректора, см	173
4. $t_{сч}$	Температура газа в счетчике по данным архива корректора, °С	-5,3
5. $V_с$	Объем газа стандартный по данным корректора, $м^3$	701
6.	Материал трубопровода Материал футляра (гильзы)	Сталь Сталь
7. $D_{вт}$	Диаметр трубопровода внутренний, мм	50
8. $D_{нф}$	Диаметр футляра наружный, мм	89
9. $L_с$	Толщина стены в месте ввода трубопровода, см	60
10.	Материал стены	Кирпич
11.	Количество креплений (или стоек) трубопровода к стене помещения на участке трубопровода, штук	3
12.	Плотность, $кг/м^3$, и состав газа (объемные доли, %)	Плотность 0,681 CO_2 0,037 N_2 1,191
13.	Доля времени использования газа по данным архива корректора	1
14.	Используемые средства измерений	RVG G40, EK260

Е.5 Результаты расчетов

На Рис. 1 схематически изображена верхняя часть сечения трубопровода и стены плоскостью, проходящей через ось трубопровода (ось X). По оси R определяется расстояние от оси X в цилиндрической системе координат. Прямоугольники получены сечением цилиндрических колец плоскостью.

Значения температуры воздуха снаружи и внутри помещения показаны числами соответственно слева и справа от стены. Стрелками обозначены направления тепловых потоков между одним из объемов (цилиндрических колец) и соседними объемами. Формулы для расчета тепловых потоков даны в п. Д.3.1. При расчете использованы данные п. Е.4. Значения коэффициентов теплоотдачи между стеной и воздухом были взяты по данным [6, 7]: наружный $\alpha_н = 25$ Вт/(м^2·К), внутренний $\alpha_в = 11$ Вт/(м^2·К).

Расчетные значения трехмерного температурного поля, обладающего осевой симметрией, показаны числами в прямоугольниках. Расчетные значения температуры газа - числами в трубопроводе. Значение температуры газа в конце участка трубопровода внутри стены $t_{сп}$ = -14,3 °С.

Е.6 Проведение предварительных расчетов

При отсутствии ЭВМ и программы для расчетов по данной методике с целью получения приближенных результатов может быть использован алгоритм, суть которого состоит в следующем.

Исходя из известных значений температуры воздуха снаружи и внутри помещения, коэффициентов теплоотдачи $\alpha_н$ для наружной и $\alpha_в$ для внутренней поверхностей стены, по формуле, приведенной в [2 - 4], для расчета температуры внутри плоской стенки рассчитывается линейный температурный профиль в стене без учета влияния трубопровода.

Рассматривается эквивалентная система теплопередачи через трубопровод, футляр и цилиндрическую стенку. При этом параметры (толщину и коэффициент теплопроводности) цилиндрической стенки подбирают таким образом, чтобы её термическое сопротивление соответствовало термическому сопротивлению стены из определенного строительного материала. Температура внешней поверхности стенки соответствует линейному температурному профилю, полученному указанным выше способом. В этом случае расчетная температура газа в конце участка трубопровода внутри стены будет равна температуре,

полученной по данной методике.

Температуру газа рассчитывают по формуле (Д.13) п. Д.3.2, принимая $T_{нс}$ и b равными значениям коэффициентов линейного температурного профиля в стене без учета влияния трубопровода.

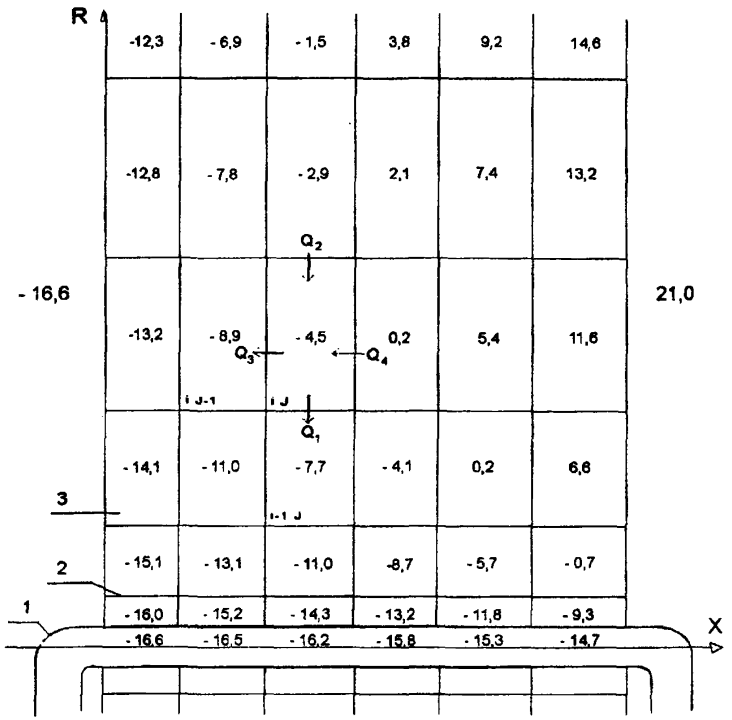


Рис. 1. Схематическое изображение сечения трубопровода и стены плоскостью. 1 - трубопровод, 2 - футляр, 3 - стена; стрелками обозначены направления тепловых потоков Q; числами показаны значения температуры, °С.

Приложение Ж

(справочное)

Библиография

[1] Гужов А.И. и др. Сбор, транспорт и хранение природных углеводородных газов. М.: Недра, 1978

[2] Мухачев Г.А., Щукин В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа, 1991

[3] Михеев М. А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977

[4] Юдаев Б.Н. Теплопередача. М.: Высшая школа, 1981

[5] СНиП 42-01-2002 Газоснабжение

[6] СНиП 2.04.14-88 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов

[7] Тепловая изоляция. Справочник строителя. Под ред. Кузнецова Г.Ф. М.: Стройиздат, 1985

[8] Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. М.: Наука, 1987

[9] Понтрягин Л.С. Обыкновенные дифференциальные уравнения. М.: Наука, 1974

[10] МИ 2721-2005 Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Количество (объем) газа. Типовая методика выполнения измерений мембранными счетчиками газа без температурной компенсации

[11] МВИ № ФР 1.31.2003.00844 Инструкция. Государственная система обеспечения единства измерений. Количество (объем) газа. Методика выполнения измерений при помощи бытовых счетчиков, не

gost.e-ecolog.ru
пературной компенсации, в Республике Татарстан