МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ВОДЯНЫХ И ПАРОВЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

МУ 34-70-080-84

СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА И ИНФОРМАЦИИ СОЮЗТЕХЭНЕРГО

1985

gost.e-ecolog.ru

Р А З Р А Б О Т А Н О Производственным объединением по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей "Союзтехэнерго" (в части водяных тепловых сетей) и Всесоюзным научно-исследовательским теплотехническим институтом им. Ф.Э.Дзержинского (в части паровых тепловых сетей).

И С П О Л Н И Т Е Л И Я.И.КАПЛИНСКИЙ (ПО "Союзтехэнерго"), И.А.ЗАВЕРТКИН (ВТИ)

У Т В Е Р Ж Д Е Н О Главным техническим управлением по эксплуатации энергосистем 20.09.84 г.

Главный инженер В.В.НЕЧАЕВ

© СПО Союзтехэнерго, 1985.

УДК 697.34

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ВОДЯНЫХ И ПАРОВЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

МУ 34-70-080-84

Срок действия установлен
с 01.01.85 г.
до 01.01.95 г.

Методические указания по определению тепловых потерь в водяных и паровых тепловых сетях предназначены для инженерно-технического персонала тепловых электростанций, котельных и предприятий тепловых сетей Минэнерго СССР.

С выходом в свет настоящих Методических указаний прекращает свое действие "Методика определения тепловых потерь в действующих водяных тепловых сетях (М.: СЦИТИ ОРГРЭС, 1970).

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО НОРМИРОВАНИЮ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

I.I. Настоящие Методические указания предназначены для определения нормируемых и фактических значений эксплуатационных тепловых потерь в тепловых сетях, принадлежащих организациям Минэнерго СССР.

Тепловые потери нормируются для предстоящего периода работы конкретной тепловой сети и представляют собой ожидаемые потери за I год или I мес. Фактические тепловые потери определяются за любой истекший период работы тепловой сети.

I.2. Нормируемые эксплуатационные тепловые потери водяной тепловой сети через изоляцию трубопроводов устанавливаются экспериментально путем проведения специальных тепловых испытаний

сети. Целью испытаний является определение тепловых потерь различными типами прокладки и конструкциями изоляции трубопроводов, характерными для данной тепловой сети. По результатам испытаний оцениваются конкретные условия работы прокладок и состояние изоляции испытываемых трубопроводов.

В связи с этим испытаниям следует подвергать те участки сети, у которых тип прокладки и конструкция изоляций являются преобладающими для данной сети, что облегчает распространение результатов испытаний на тепловую сеть в целом.

Непосредственной задачей испытаний водяной сети является определение тепловых потерь испытываемыми участками при выбранном режиме.

I.3. Экспериментальное определение тепловых потерь через изоляцию трубопроводов должно производиться периодически: по мере расширения и реконструкции тепловой сети, изменения теплотехнических показателей изоляции трубопроводов в процессе их эксплуатации, замены изоляции на отдельных участках и т.п.

Испытания по определению тепловых потерь в тепловых сетях должны проводиться не реже одного раза в 5 лет.

I.4. Нормируемые значения тепловых потерь с утечкой воды из тепловых сетей определяются на основании часовой утечки воды, регламентируемой "Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей" (М.: Энергия, 1977).

2. НОРМИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ИЗОЛЯЦИЮ ТРУБОПРОВОДОВ В ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

2.I. При определении нормируемых значений часовых среднегодовых эксплуатационных тепловых потерь через изоляцию трубопроводов для тепловой сети в целом на основе данных испытаний отдельных участков этой сети в качестве исходных принимаются следующие положения:

- для испытанных участков сети используются значения измеренных тепловых потерь с пересчетом на среднегодовой режим работы тепловой сети;

- для участков тепловой сети, не подвергшихся испытаниям,

но имеющих типы прокладки и конструкции изоляции, аналогичные испытанным участкам, используются нормативные значения среднегодовых тепловых потерь для данной тепловой сети с введением в них поправочных коэффициентов К, значения которых принимаются по результатам тепловых испытаний;

- для участков тепловой сети, не подвергшихся испытаниям и имеющих типы прокладок или конструкции изоляции, отличные от испытанных участков, принимаются нормативные значения среднегодовых тепловых потерь без введения в них каких-либо поправочных коэффициентов;

- нормируемые значения среднегодовых эксплуатационных потерь по тепловой сети в целом получаются путем суммирования тепловых потерь по охарактеризованным выше группам участков.

2.2. Нормативные значения среднегодовых тепловых потерь данной тепловой сети определяются исходя из действующих норм тепловых потерь для различных типов прокладок сетей, на основании которых запроектирована тепловая изоляция тех или иных участков данной сети. Структура норм тепловых потерь одинакова (см. приложения I и 2).

В приложениях I и 2 значения удельных тепловых потерь для двухтрубных водяных сетей, дифференцированные по типам прокладок, приведены для каждого наружного диаметра труб и нескольких значений разности среднегодовых температур воды и окружающей среды (грунта при подземной и воздуха при надземной прокладке). Для подземной прокладки значения удельных тепловых потерь приводятся суммарно по обоим трубопроводам, для надземной прокладки - по одному трубопроводу. Поскольку приведенные в приложениях I и 2 значения разности температур воды и окружающей среды, как правило, отличаются от разности температур для данной тепловой сети, необходим пересчет этих значений на разность среднегодовых температур, соответствующую условиям работы данной тепловой сети.

2.3. Нормативные значения среднегодовых тепловых потерь для данной тепловой сети определяются по следующим формулам:

- для участков подземной прокладки:

$$Q_{н}^{ср.г} = \sum \beta q_{н} \ell; \qquad (I)$$

- для участков надземной прокладки:

$$Q_{н.п}^{ср.г} = \sum \beta q_{н.п} \ell; \qquad (2)$$

$$Q_{н.в}^{ср.г} = \Sigma \beta q_{н.в} \ell, \qquad (3)$$

где $Q_{н}^{ср.г}$, $Q_{н.п}^{ср.г}$ и $Q_{н.в}^{ср.г}$ – нормативные среднегодовые тепловые потери соответственно для участков подземной прокладки подающего и обратного трубопроводов участков надземной прокладки, Вт(ккал/ч);

$q_{н}$ – нормативные значения удельных тепловых потерь подающего и обратного трубопровода водяных тепловых сетей при подземной прокладке для каждого диаметра труб и типа прокладки, Вт/м (ккал/м·ч);

$q_{н.п}$ и $q_{н.в}$ – нормативные значения удельных тепловых потерь двухтрубных водяных тепловых сетей соответственно подающего и обратного трубопровода для каждого диаметра труб при надземной прокладке, Вт/м [ккал/(м·ч)];

ℓ – длина участка тепловой сети, характеризующегося одинаковым диаметром трубопроводов и типом прокладки, м;

β – коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери арматуры, опор и компенсаторов.

2.3.1. Нормативные значения удельных тепловых потерь определяются исходя из действующих норм отдельно для участков подземной прокладки разных типов и надземной прокладки применительно к среднегодовым условиям работы данной тепловой сети.

2.3.2. Значения $q_{н}$ для различных диаметров трубопроводов подземной прокладки определяются путем линейной интерполяции (или экстраполяции) между табличными значениями удельных тепловых потерь при разностях температур 52,5 и 65°С (или 65 и 75°С) на разность среднегодовых температур воды и грунта для данной тепловой сети (см. приложение 1).

2.3.3. Значения $q_{н.п}$ и $q_{н.в}$ для различных диаметров трубопроводов надземной прокладки определяются путем линейной интерполяции между табличными значениями удельных тепловых потерь при разностях температур 70 и 95° для подающей линии и 45 и 70° для обратной линии. Интерполяция проводится на разность среднегодовых температур воды в соответствующей линии и окружающего воздуха для данной тепловой сети (см. приложение 2).

2.3.4. Определение разности среднегодовых температур теплоносителя и окружающей среды для данной тепловой сети производится на основании средних за год температур наружного воздуха и грунта на уровне заложения теплопроводов, принимаемых по климатологическим справочникам или по данным ближайшей метеорологической станции.

Среднегодовые температуры воды в подающей и обратной линиях тепловой сети находятся как среднеарифметические из среднемесячных температур ее в соответствующих линиях за весь период работы сети в течение года. Среднемесячные температуры воды определяются по утвержденному эксплуатационному температурному графику при среднемесячной температуре наружного воздуха.

2.3.5. Значение коэффициента β в соответствии со СНиП II-36-73 "Тепловые сети. Нормы проектирования" принимается для бесканальной прокладки I,I5; для канальной - I,2 и для надземной прокладки - I,25.

2.3.6. В формулах (I)-(3) суммирование производится по всем участкам тепловой сети, не подвергавшимся тепловым испытаниям, раздельно для участков с типами прокладки и конструкциями изоляции, аналогичными испытанным и отличающимися от них.

2.4. Нормируемые значения часовых среднегодовых эксплуатационных тепловых потерь по каждой группе участков, указанных в п.2.I., определяются раздельно для подземной и надземной прокладок следующим образом:

2.4.I. Нормируемые значения тепловых потерь по участкам, подвергнутым испытаниям, находятся по формулам (34)-(36);

2.4.2. Нормируемые значения тепловых потерь по участкам, не подвергнутым испытаниям, но имеющим типы прокладки и конструкции изоляции, аналогичные испытанным участкам, находятся по формулам:

- для подземной прокладки

$$Q^{ср.г}_{н.п} = Q^{ср.г}_{н.} K ; \qquad (4)$$

- для надземной прокладки:

$$Q^{ср.}_{н.п.л} = Q^{ср.г}_{н.п} K_{п}, \qquad (5)$$

$$Q^{ср.г}_{н.о.л} = Q^{ср.г}_{н.о} K_{о}, \qquad (6)$$

где $Q^{ср.г}_{н.и}$, $Q^{ср.г}_{н.п.и}$ и $Q^{ср.г}_{н.о.и}$ – нормируемые значения часовых среднегодовых эксплуатационных тепловых потерь соответственно для участков подземной прокладки и для участков подающей и обратной линий надземной прокладки, Вт(ккал/ч).

Коэффициенты K, $K_п$ и $K_о$ определяются по результатам тепловых испытаний (п.5.9.2 настоящих Методических указаний).

2.4.3. Нормируемые значения тепловых потерь по участкам, не подвергнутым испытаниям и имеющим типы прокладок и конструкции изоляции, отличные от испытанных участков, находятся по формулам (4)-(6) без введения коэффициентов.

2.5. Нормируемые значения среднегодовых эксплуатационных тепловых потерь через изоляцию трубопроводов тепловой сети в целом определяются раздельно для подземной и надземной прокладок (а для последней – раздельно по обеим линиям сети) путем суммирования тепловых потерь по всем группам участков

$$Q^{ср.г}_{подз} = Q^{ср.г}_{н.и} + Q^{ср.г}_{н.п} + Q^{ср.г}_{н.н}; \qquad (7)$$

$$Q^{ср.г}_{надз.п} = Q^{ср.г}_{н.п.и} + Q^{ср.г}_{н.п.п} + Q^{ср.г}_{н.п.н}; \qquad (8)$$

$$Q^{ср.г}_{надз.о} = Q^{ср.г}_{н.о.и} + Q^{ср.г}_{н.о.п} + Q^{ср.г}_{н.о.н}, \qquad (9)$$

где $Q^{ср.г}_{подз}$, $Q^{ср.г}_{надз.п}$ и $Q^{ср.г}_{надз.о}$ – нормируемые значения среднегодовых часовых эксплуатационных тепловых потерь для конкретной тепловой сети соответственно для подземной прокладки и для подающей и обратной линий надземной прокладки, МВт (Гкал/ч);

$Q^{ср.г}_{н.и}$, $Q^{ср.г}_{н.п.и}$ и $Q^{ср.г}_{н.о.и}$ – нормируемые значения часовых среднегодовых эксплуатационных тепловых потерь для участков, подвергнутых испытаниям, соответственно при подземной и надземной их прокладке (для последней – раздельно по обеим линиям сети), МВт (Гкал/ч);

$Q^{ср.г}_{н.н}$, $Q^{ср.г}_{н.п.н}$ и $Q^{ср.г}_{н.о.н}$ – нормируемые значения часовых среднегодовых эксплуатационных тепловых потерь для участков, не подвергнутых испытаниям и

имеющих типы прокладок и конструкции изоляции, отличные от испытанных участков, соответственно при подземной и надземной прокладке (для последней – раздельно по обеим линиям сети), МВт (Гкал/ч).

2.6. Нормируемые значения месячных тепловых потерь через изоляцию трубопроводов для тепловой сети в целом определяются по формуле:

$$Q_{из}^{мес} = 3{,}6\left(Q_{подз}^{ср.м} + Q_{надз.п}^{ср.м} + Q_{надз.о}^{ср.м}\right)n \quad \text{или} \quad Q_{из}^{мес} = \left(Q_{подз}^{ср.м} + Q_{надз.п}^{ср.м} + Q_{надз.о}^{ср.м}\right)n, \tag{10}$$

где $Q_{из}^{мес}$ – нормируемое значение месячных тепловых потерь через изоляцию трубопроводов, ГДж (Гкал);

$Q_{подз}^{ср.м}$, $Q_{надз.п}^{ср.м}$ и $Q_{надз.о}^{ср.м}$ – нормируемые значения часовых тепловых потерь соответственно для всех участков сети подземной и надземной прокладки (подающей и обратной линий), определенные применительно к среднемесячным температурам воды и окружающей среды, МВт(Гкал/ч);

n – продолжительность работы сети в данном месяце, ч.

Пересчет нормируемых значений среднегодовых тепловых потерь $Q_{подз}^{ср.г}$, $Q_{надз.п}^{ср.г}$ и $Q_{надз.о}^{ср.г}$ на их среднемесячные значения $Q_{подз}^{ср.м}$, $Q_{надз.п}^{ср.м}$ и $Q_{надз.о}^{ср.м}$ производится отдельно для участков подземной и надземной прокладки (подающей и обратной линий) по следующим формулам:

– для участков подземной прокладки

$$Q_{подз}^{ср.м} = Q_{подз}^{ср.г}\,\frac{t_п^{ср.м} + t_о^{ср.м} - 2t_{гр}^{ср.м}}{t_п^{ср.г} + t_о^{ср.г} - 2t_{гр}^{ср.г}}; \tag{11}$$

– для участков подающей линии надземной прокладки

$$Q_{надз.п}^{ср.м} = Q_{надз.п}^{ср.г}\,\frac{t_п^{ср.м} - t_в^{ср.м}}{t_п^{ср.г} - t_в^{ср.г}}; \tag{12}$$

– для участков обратной линии надземной прокладки

$$Q^{ср.м}_{надз.о} = U^{ср.г}_{надз.о} \frac{t^{ср.м}_{о} - t^{ср.м}_{б}}{t^{ср.г}_{о} - t^{ср.г}_{б}}; \qquad (10$$

где $t^{ср.м}_{п}$ и $t^{ср.м}_{о}$ – ожидаемые среднемесячные температуры воды в подающей и обратной линиях тепловой сети, определенные по эксплуатационному температурному графику при среднемесячной температуре наружного воздуха $t^{ср.м}_{б}$, °С;

$t^{ср.г}_{п}$ и $t^{ср.г}_{о}$ – среднегодовые температуры воды в подающей и обратной линиях тепловой сети, определенные как среднеарифметические из ожидаемых среднемесячных температур ее в соответствующих линиях за весь период работы сети в течение года, °С;

$t^{ср.м}_{гр}$ и $t^{ср.г}_{гр}$ – среднемесячная и среднегодовая температура грунта на глубине заложения теплопроводов, °С;

$t^{ср.м}_{б}$ и $t^{ср.г}_{б}$ – среднемесячная и среднегодовая температура наружного воздуха, °С.

Для тех месяцев, в течение которых производится перевод круглогодично работающей сети с отопительного на летний режим работы, подсчет нормируемых значений тепловых потерь производится отдельно по соответствующим периодам этих месяцев с подстановкой в формулу (10) вместо n числа часов работы сети в течение данного периода.

2.7. Нормируемые значения годовых тепловых потерь через изоляцию трубопроводов по тепловой сети в целом определяются как сумма нормируемых значений месячных тепловых потерь.

3. НОРМИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ С УТЕЧКОЙ ВОДЫ ИЗ ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

3.1. Нормируемые значения месячных тепловых потерь с утечкой воды из тепловой сети определяются по формуле

$$Q^{мес}_{ут} = \alpha c V \rho \left(\frac{t^{ср.м}_{п} + t^{ср.м}_{о}}{2} - t^{ср.м}_{х} \right) n 10^{-6}, \qquad (14)$$

где $Q_{ут}^{мес}$ – нормируемое значение месячных тепловых потерь с утечкой воды из тепловой сети, ГДж (Гкал);

a – нормативное значение утечки из тепловой сети и местных систем, эксплуатируемых организациями Минэнерго СССР, принимается 0,0025 $м^3/(ч \cdot м^3)$;

c – удельная теплоемкость воды:

$$c = 4,187 \text{ кДж/(кг} \cdot {}^{\circ}\text{C)} = 1 \text{ ккал/(кг} \cdot {}^{\circ}\text{C)};$$

V – объем указанной части тепловой сети, $м^3$;

ρ – плотность воды при температуре $\frac{t_{п}^{ср.м} + t_{о}^{ср.м}}{2}$, $кг/м^3$;

$t_{х}^{ср.м}$ – среднемесячная температура воды, поступающей на источник тепла для подпитки тепловой сети; может быть принята $5^{\circ}C$ в зимний период и $15^{\circ}C$ в летний период;

$t_{п}^{ср.м}$ и $t_{о}^{ср.м}$ – находятся согласно п. 2.6 настоящих Методических указаний.

3.2. Нормируемые значения годовых тепловых потерь с утечкой воды из тепловой сети находятся суммированием нормируемых значений месячных тепловых потерь.

3.3. При необходимости нормируемые годовые тепловые потери через изоляцию и с утечкой могут быть определены как доля нормируемого годового отпуска тепловой энергии.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

4.1. Фактические тепловые потери через изоляцию трубопроводов за истекший месяц работы тепловой сети определяются по формулам (10)–(13), но в этом случае $Q_{подз}^{ср.м}$, $Q_{надз.п}^{ср.м}$ и $Q_{надз.о}^{ср.м}$ – фактические значения часовых тепловых потерь соответственно для всех участков сетей подземной и надземной прокладки (подающей и обратной линий), определенные применительно к фактическим среднемесячным температурам воды и окружающей среды.

Фактические среднемесячные температуры воды определяются путем усреднения за месяц их среднесуточных значений.

4.2. Фактические тепловые потери через изоляцию трубопроводов за истекший год определяются суммированием фактических месячных тепловых потерь за время работы сети в этот период.

4.3. Фактические значения месячных тепловых потерь с утечкой воды при открытой системе теплоснабжения определяются по формуле (I4), где $t_п^{ср.м}$ и $t_о^{ср.м}$, находятся согласно п. 4.I, а $t_х^{ср.м}$ представляет собой фактическую среднемесячную температуру воды, поступающей на источник тепла для подпитки тепловой сети, °С.

Фактические значения месячных тепловых потерь с утечкой воды при закрытой системе теплоснабжения определяются по формуле

$$Q_{ут}^{мес} = c \sum_{1}^{m} G_{ут}^{сут} \left(\frac{t_п^{ср.сут} + t_о^{ср.сут}}{2} - t_х^{ср.сут} \right) 10^{-3}, \qquad (I5)$$

где $Q_{ут}^{мес}$ – фактические месячные тепловые потери с утечкой воды при закрытой системе теплоснабжения, ГДж (Гкал);

$G_{ут}^{сут}$ – фактический суточный расход подпиточной воды, т/сут;

$t_п^{ср.сут}$, $t_о^{ср.сут}$ и $t_х^{ср.сут}$ – фактические среднесуточные температуры воды соответственно в подающей и обратной линиях сети на источнике тепла и воды, поступающей на него для подпитки тепловой сети, °С;

m – продолжительность работы тепловой сети в прошедшем месяце, сут.

4.4. Фактические тепловые потери с утечкой воды из тепловой сети за истекший год определяются суммированием фактических месячных тепловых потерь за время работы сети в этот период.

4.5. При необходимости фактические годовые тепловые потери через изоляцию и с утечкой воды могут быть определены как доля фактического годового отпуска тепла.

5. ТЕПЛОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

5.1. Задачи испытаний и последовательность работ

5.1.1. В непосредственную задачу тепловых испытаний водяной тепловой сети входит выявление тепловых потерь через изоляцию трубопроводов испытываемыми участками сети при выбранном режиме и сопоставление их с нормативными значениями по тем же участкам.

5.1.2. Перед испытаниями должна быть восстановлена разрушенная тепловая изоляция, осушены камеры тепловых сетей, приведены в порядок дренажи, организован сток поверхностных вод с трассы и т.п.

5.1.3. Проведение испытаний водяной сети предусматривает выполнение следующих работ:

анализ материалов по тепловой сети;

выбор участков сети, подлежащих испытаниям;

расчет параметров испытаний;

подготовка сети и оборудования к испытаниям;

подготовка измерительной аппаратуры;

проведение тепловых испытаний;

обработка данных, полученных при испытаниях;

сопоставление измеренных при испытаниях тепловых потерь с нормативными.

5.2. Анализ материалов по тепловой сети

5.2.1. Подготовка к испытаниям должна начинаться с детального анализа схемы тепловой сети, оборудования теплоподготовительной установки, типов прокладок, конструкции изоляции и состояния ее на отдельных участках сети.

В процессе подготовки составляется таблица с данными по характеристике сети, в которой должны быть указаны диаметры и длины труб по участкам, конструкция изоляции и типы прокладки (подземная бесканальная и в непроходных каналах, надземная вне помещений). Образец таблицы приведен в приложении 3 (табл. П.3.1).

5.2.2. Для пересчета полученных при испытаниях результатов на различные эксплуатационные режимы работы сети и для определе-

ния температурных параметров испытаний используются климатологические данные для того населенного пункта, в котором расположена испытываемая сеть:

- среднегодовые температуры грунта $t_{гр}^{ср.г}$ на среднем уровне оси теплопроводов при подземной прокладке и наружного воздуха $t_{в}^{ср.г}$ при надземной прокладке вне помещений;
- среднемесячные температуры грунта $t_{гр}^{ср.м}$ на среднем уровне оси теплопроводов при подземной прокладке и наружного воздуха $t_{в}^{ср.м}$ по каждому месяцу в отдельности.

Эти данные следует принимать как многолетние по материалам ближайшей к данному населенному пункту метеостанции или из справочников по климату.

5.3. Выбор участков сети, подлежащих испытаниям

5.3.I. Испытаниям следует подвергать те участки сети, у которых тип прокладки и конструкции изоляции являются преобладающими для данной сети.

5.3.2. Испытания по определению тепловых потерь двухтрубной водяной тепловой сети необходимо проводить на циркуляционном кольце, состоящем из подающей и обратной линий с перемычкой между ними на конечном участке кольца.

Начальный участок циркуляционного кольца образуется оборудованием и трубопроводами теплоподготовительной установки (рис.I).

Циркуляционное кольцо состоит из ряда последовательно соединенных участков, различающихся, как правило, типом прокладки и конструкцией изоляции. Участки могут состоять из трубопроводов различных диаметров. Рекомендуется проводить испытания с циркуляционным кольцом, которое включает в себя основную магистраль тепловой сети, состоящую из труб наибольшего диаметра и максимальной протяженности от источника тепла. В конечный участок циркуляционного кольца по возможности следует вводить трубопроводы квартальной распределительной сети. Все ответвления и отдельные абоненты, присоединенные к циркуляционному кольцу, на время испытаний отсоединяются от него.

5.3.3. При таком выборе циркуляционного кольца расходы воды на всех участках кольца во время испытаний в основном одинаковы и могут различаться между собой за счет незначительной утечки во-

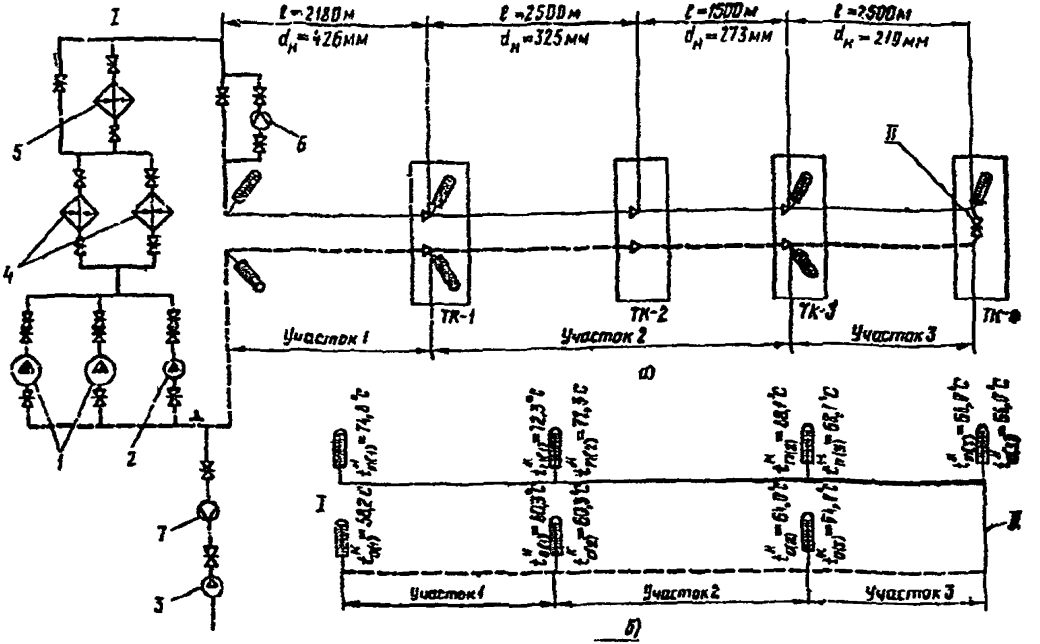

Рис.I. Схема испытываемого циркуляционного кольца:

а – движение воды и расстановка измерительных приборов при испытаниях;
б – измерение температур воды;

I – теплоподготовительная установка; II – циркуляционная перемычка;

1 – сетевые насосы; 2 – летний насос малой подачи; 3 – подпиточный насос; 4 – основные подогреватели сетевой воды; 5 – пиковый подогреватель сетевой воды или водогрейный котел 6 – расходомер на подающей линии; 7 – расходомер на подпиточной линии; ——— – подающая линия; – – – – обратная линия; —·—·— – подпиточная линия

ды из кольца, покрываемой его подпиткой.

5.3.4. Понижение температуры воды по мере ее движения по кольцу обусловливается только тепловыми потерями трубопроводов и арматуры в окружающую среду. Значения этих тепловых потерь могут быть подсчитаны исходя из измеренного во время испытаний расхода воды и понижения ее температуры на отдельных участках кольца. При таком режиме работы в отличие от условий нормальной эксплуатации двухтрубной водяной тепловой сети температуры воды в обратной линии кольца лишь незначительно ниже ее температур в подающей линии соответствующего участка, поскольку это снижение вызвано только тепловыми потерями соответствующей части кольца.

5.3.5. Выбор типов прокладки и конструкций изоляции, которые целесообразно подвергать испытаниям, производится на основе оценки их доли в материальной характеристике M_c тепловой сети в целом. При $\frac{M}{M_c} < 0{,}15$ данные типы прокладки и конструкции изоляции, как правило, испытаниям не подлежат, а эксплуатационные потери тепла для них определяются исходя из нормативных данных. При $\frac{M}{M_c} \geqslant 0{,}15$ соответствующие типы прокладки и конструкции изоляции, как правило, должны подвергаться испытаниям.

Здесь $M=\Sigma(d_н \ell)$ – материальная характеристика для подающей или обратной линии сети, просуммированная по всем участкам с данным типом прокладки и конструкцией изоляции, м^2;

$M_c=\sum_c(d_н \ell)$ – материальная характеристика для подающей или обратной линии, просуммированная по всей сети в целом, м^2;

$d_н$ – наружный диаметр труб в пределах одного участка сети (по подающей или обратной линии при равных диаметрах труб этих линий), м;

ℓ – протяженность участка сети; м.

Выявление участков тепловой сети, которые должны быть подвергнуты испытаниям, следует производить по данным таблицы с характеристикой сети.

5.4. Определение параметров испытаний

5.4.I. Основными параметрами испытаний, определяемыми расчетным путем, являются поддерживаемые в процессе испытаний значения температуры воды в подающей линии сети на выходе из теплоподготовительной установки и расхода воды на начальном участке испытываемого циркуляционного кольца. Кроме того, выявляются ожидаемые в процессе испытаний значения температуры воды в обратной линии на входе в теплоподготовительную установку и расхода подпиточной воды, а также ориентировочная продолжительность испытаний.

5.4.2. Температурный режим циркуляционного кольца во время испытаний задается исходя из следующих условий:

- разность между средней температурой воды по всем участкам кольца и температурой окружающей среды во время испытаний должна быть по возможности близка к среднегодовому значению разности средней по подающей и обратной линиям температур воды и температуры окружающей среды по данной сети;

- понижение температуры воды в циркуляционном кольце за счет его тепловых потерь $\Delta t_и$ при испытаниях должно составлять не менее 8 и не более 20°С.

При наличии на испытываемом кольце участков с различными типами прокладки и конструкциями изоляции понижение температуры воды в кольце выбирается в соответствии с формулой

$$\Delta t_и = \frac{\Delta t_{мин}}{\left(\frac{M_{мин}}{M_{к.п} + M_{к.о}}\right)_и}, \qquad (I6)$$

где $\Delta t_{мин}$ - минимально допустимое понижение температуры воды в подающей или обратной линии на участке с наименьшей материальной характеристикой $M_{мин}$, принимаемое равным 2°С из соображений обеспечения надлежащей точности измерений температуры;

$\left(\frac{M_{мин}}{M_{к.п}+M_{к.о}}\right)_и$ - наименьшее в пределах кольца отношение материальной характеристики для подающей или обратной линии отдельного участка испытываемого кольца $M_{мин}$ к суммарной материальной характеристике подающей $M_{к.п}$ и обратной $M_{к.о}$ линий для всего кольца в целом.

При значении отношения $\left(\frac{M_{мин}}{M_{кл}+M_{кл}}\right)_и<0,1$ тепловые потери на соответствующих участках испытываемого кольца, как правило, отдельно не измеряются.

Температура воды в подающей $t_{п.и}$ и обратной $t_{о.и}$ линиях испытываемого кольца на выходе из теплоподготовительной установки и на входе в нее определяются по формулам:

$$t_{п.и}=\frac{t_п^{ср.г}+t_о^{ср.г}}{2}+\frac{\Delta t_и}{2}+t_{окр.и}-t_{окр}^{ср.г}; \qquad (17)$$

$$t_{о.и}=t_{п.и}-\Delta t_и=\frac{t_п^{ср.г}+t_о^{ср.г}}{2}-\frac{\Delta t_и}{2}+t_{окр.и}-t_{окр}^{ср.г}, \qquad (18)$$

где $t_п^{ср.г}$ и $t_о^{ср.г}$ – среднегодовые температуры воды в подающей и обратных линиях для испытываемой сети (°С), подсчитываемые согласно п. 2.3.4 настоящих Методических указаний;

$t_{окр.и}$ – ожидаемая усредненная по всем участкам кольца температура окружающей среды во время испытаний, °С;

$t_{окр}^{ср.г}$ – усредненная по тем же участкам среднегодовая температура окружающей среды, °С.

При наличии в пределах испытываемого кольца участков как с подземной, так и с надземной прокладкой тепловой сети усредненные температуры окружающей среды $t_{окр.и}$ и $t_{окр}^{ср.г}$ подсчитываются соответственно по формулам:

$$t_{окр.и}=\frac{t_{гр.и}^{ср.м}M_{подз}+t_{в.и}^{ср.м}M_{надз}}{M_к}; \qquad (19)$$

$$t_{окр}^{ср.г}=\frac{t_{гр}^{ср.г}M_{подз}+t_в^{ср.г}M_{надз}}{M_к}, \qquad (20)$$

где $t_{гр.и}^{ср.м}$ и $t_{в.и}^{ср.м}$ – соответственно средние за месяц проведения испытаний температуры грунта на среднем уровне оси теплопроводов и наружного воздуха, °С;

$t_{гр}^{ср.г}$ и $t_в^{ср.г}$ – соответственно среднегодовые температуры грунта и наружного воздуха, °С;

$M_{подз}$ и $M_{надз}$ – материальные характеристики для подающей или обратной линии по всем участкам соот-

ветственно подземной и надземной прокладки, расположенным в пределах испытываемого циркуляционного кольца, м^2;

$M_к$ – суммарная материальная характеристика для подающей или обратной линии по всем участкам испытываемого кольца, м^2.

5.4.3. При принятии расчетного расхода воды, циркулирующей по испытываемому кольцу, следует исходить из ориентировочно оценочного значения тепловых потерь этого кольца при режиме испытаний $Q_и$, подсчитываемого по формуле

$$Q_и = \sum_{надз} (q_{н.п.и} + q_{н.о.и}) \beta \ell + \sum_{подз} q_{н.и} \beta \ell, \qquad (21)$$

где $Q_и$ – ожидаемые значения тепловых потерь испытываемого кольца при режиме испытаний, Вт (ккал/ч);

β – коэффициент местных потерь, принимается согласно п.2.3.5 настоящих Методических указаний;

$q_{н.и}$ – значение удельных тепловых потерь данной тепловой сети для каждого диаметра труб подземной прокладки при температурном режиме испытаний, Вт/м [ккал/(м·ч)];

$q_{н.п.и}$ и $q_{н.о.и}$ – значения удельных тепловых потерь данной тепловой сети соответственно по подающей и обратной линиям для каждого диаметра труб надземной прокладки при температурном режиме испытаний, Вт/м [ккал/(м·ч)].

Эти значения определяются исходя из действующих норм тепловых потерь отдельно для участков подземной и надземной прокладки применительно к температурному режиму, поддерживаемому во время испытаний в циркуляционном кольце.

Значения $q_{н.и}$ для подземной и $q_{н.п.и}$ и $q_{н.о.и}$ для надземной прокладок находятся по формулам:

$$q_{н.и} = q_н \frac{t_{п.н}^{ср} + t_{о.н}^{ср} - 2t_{гр.н}^{ср.м}}{t_п^{ср.г} + t_о^{ср.г} - 2t_{гр}^{ср.г}}; \qquad (22)$$

$$q_{н.п.и} = q_{н.п} \frac{t_{п.н}^{ср} - t_{о.н}^{ср.м}}{t_п^{ср.г} - t_о^{ср.г}}; \qquad (23)$$

$$q_{н.о.и} = q_{н.о} \frac{t^{ср}_{о.и} - t^{ср.м}_{в.и}}{t^{ср.г}_{о} - t^{ср.г}_{в}}, \qquad (24)$$

где значение $q_н$ для испытываемых участков подземной прокладки находится согласно п. 2.3.2, а значения $q_{н.п}$ и $q_{н.о}$ для испытываемых участков надземной прокладки - согласно п. 2.3.3 настоящих Методических указаний.

Средние температуры воды при режиме испытаний соответственно в подающей и обратной линиях испытываемого кольца $t^{ср}_{п.и}$ и $t^{ср}_{о.и}$ определяются по формулам:

$$t^{ср}_{п.и} = t_{п.и} - \frac{\Delta t_и}{4} = \frac{t^{ср.г}_{п} + t^{ср.г}_{о}}{2} + \frac{\Delta t_и}{4} + t_{окр.и} - t^{ср.г}_{окр}; \qquad (25)$$

$$t^{ср}_{о.и} = t_{о.и} + \frac{\Delta t_и}{4} = \frac{t^{ср.г}_{п} + t^{ср.г}_{о}}{2} - \frac{\Delta t_и}{4} + t_{окр.и} - t^{ср.г}_{окр}. \qquad (26)$$

При расчетах по формуле (6) суммирование осуществляется по всем участкам длиной ℓ испытываемого кольца, отличающимся наружным диаметром труб или типом прокладки, а не конструкцией изоляции, так как последняя не влияет на нормативные значения удельных тепловых потерь.

5.4.4. Расчетный расход воды в циркуляционном кольце, назначаемый на время испытаний, определяется по формуле

$$G_и = \frac{Q_и}{c\,\Delta t_и} 10^{-3}, \qquad (27)$$

где G - расчетный расход воды при испытаниях, кг/с (т/ч)

Предполагаемое значение часовой подпитки сети при испытаниях принимается равным 0,5% суммарного объема трубопроводов в пределах испытываемого циркуляционного кольца.

5.4.5. Ожидаемая продолжительность пробега частиц воды по испытываемому циркуляционному кольцу ($\tau_к$) определяется по формуле, ч:

$$\tau_к = \frac{V \rho\, 10^{-3}}{3{,}6\, G_и} \quad или$$

$$q_к = \frac{V\rho\,10^{-3}}{G_н}, \qquad (29)$$

где V – суммарный объем труб испытываемого циркуляционного кольца в пределах от выхода до входа их в теплоподготовительную установку, $м^3$;

ρ – плотность воды в испытываемом кольце при средней температуре воды в нем $\frac{t_{п.и}+t_{о.и}}{2}$, $кг/м^3$.

5.5. *Подготовка сети и оборудования к испытаниям*

5.5.1. Циркуляция воды в испытываемом кольце создается летним сетевым насосом небольшой подачи.

При отсутствии такого насоса необходимый расход воды может быть обеспечен основным сетевым насосом, оборудованным циркуляционной перемычкой с регулировочной задвижкой.

5.5.2. Тепловая мощность теплоподготовительной установки во время испытаний должна примерно соответствовать значению тепловых потерь циркуляционного кольца. При невозможности обеспечить необходимую тепловую мощность на существующем оборудовании источника тепла следует использовать нестационарные горизонтальные пароводяные или скоростные водоводяные подогреватели соответствующей мощности.

5.5.3. На конечном участке испытываемого кольца для перепуска воды из подающей линии в обратную устанавливается циркуляционная перемычка, рассчитанная на потери напора в ней 1-2 м.

Для перепуска воды из подающей линии в обратную могут быть использованы также элеваторные перемычки вводов, расположенных за конечным участком испытываемого кольца. Сопла элеваторов при этом должны быть удалены.

5.5.4. Непосредственно перед началом испытаний все тепловые вводы потребителей сети, кроме используемых в качестве перемычек за конечным участком, а также все ответвления, не подвергающиеся испытаниям, и перемычки между подающей и обратной линиями должны быть отсоединены от испытываемого кольца. Плотность отсоединения должна быть тщательно проверена.

5.6. Подготовка измерительной аппаратуры

5.6.1. При тепловых испытаниях сети подлежат измерению: расход воды, циркулирующей по испытываемому кольцу, расход подпиточной воды и температура воды в точках наблюдения.

Кроме того, должно контролироваться давление в обратной линии испытываемого кольца на входе ее в теплоподготовительную установку.

5.6.2. Измерение расходов сетевой и подпиточной воды производится посредством сужающих устройств (измерительных диафрагм), установленных на подающей или обратной линии, а также на подпиточной линии. К измерительным диафрагмам должны быть присоединены расходомеры переменного перепада давления.

Измерительные диафрагмы должны быть рассчитаны на расходы сетевой и подпиточной воды, которые были выявлены при определении параметров испытаний, и на перепад давления, соответствующий примерно 53 кПа (400 мм рт.ст.).

Расчет и установка новых диафрагм должны производиться согласно "Правилам измерения расхода жидкостей, газов и паров стандартными диафрагмами и соплами".

Для устранения пульсаций давления точку измерения расхода воды, циркулирующей по испытываемому кольцу, следует выбирать на расстоянии от циркуляционного насоса, превышающем 50 диаметров трубопровода.

5.6.3. Измерения температуры воды в испытываемом циркуляционном кольце должны производиться отдельно по подающей и обратной линиям в точках, расположенных на границах участков, определенных в соответствии с п.5.3.2 настоящих Методических указаний. На перемычке конечного участка кольца устанавливается один термометр.

Термометр на обратном трубопроводе в теплоподготовительной установке размещается до точки врезки подпиточного трубопровода (по ходу воды), чтобы избежать введения поправки на температуру подпиточной воды.

Измерение температуры воды во время испытаний производится лабораторными ртутными термометрами с ценой деления $0,1^{\circ}C$.

Глубина врезки гильз для термометров выбирается так, чтобы ртутный баллончик находился на оси трубопровода.

5.6.4. Все применяемые при испытаниях средства измерения должны иметь действующие клейма о государственной и ведомственной поверках, а расчеты сужающих устройств должны быть проверены в территориальных органах Госстандарта.

5.6.5. На основании результатов подготовительной работы составляется перечень подготовительных мероприятий, необходимых для проведения тепловых испытаний. В перечне должны быть указаны точки врезки и размеры перемычек в теплоподготовительной установке и в сети, точки врезки гильз для термометров, расположение и диаметры отверстий устанавливаемых измерительных диафрагм и т.п.

5.7. Проведение тепловых испытаний

5.7.1. Перед проведением испытаний проверяется выполнение подготовительных мероприятий и составляется рабочая программа испытаний, которая согласовывается и утверждается главными инженерами ТЭЦ (или котельной) и предприятия тепловых сетей.

В программу испытаний включаются: схемы и режимы работы сети и теплоподготовительной установки, точки наблюдения, количество наблюдателей, ответственные представители по проведению испытаний, сроки проведения испытаний, а также необходимые мероприятия по технике безопасности согласно действующим Правилам техники безопасности при обслуживании тепловых сетей.

5.7.2. Осуществление необходимых гидравлических и температурных режимов испытаний производится в следующем порядке:

- включаются расходомеры на линиях сетевой и подпиточной воды и устанавливаются термометры на циркуляционной перемычке конечного участка кольца, на выходе трубопроводов из теплоподготовительной установки и на входе в нее;

- устанавливается определенный расчетом расход воды по циркуляционному кольцу, который поддерживается неизменным в течение всего периода испытаний;

- устанавливается давление в обратной линии испытываемого кольца на входе ее в теплоподготовительную установку;

- устанавливается температура $t_{п.и}$ воды в подающей линии испытываемого кольца на выходе из теплоподготовительной установки, определенная по формуле (I7).

5.7.3. Во время испытаний температура воды в подающей линии должна поддерживаться постоянной с точностью $\pm$ 0,5°С.

Отклонение показаний расходомера, контролирующего расход сетевой воды в циркуляционном кольце, от расчетного значения не должно превышать 2%.

5.7.4. Определение тепловых потерь при подземной прокладке сетей производится при максимальном приближении к установившемуся тепловому состоянию, что достигается путем дополнительного прогрева грунта, окружающего теплопроводы. Доведение температурного поля в грунте до соответствующего установившемуся состояния осуществляется при режиме, принятом для проведения испытаний.

Во время прогрева грунта измеряются расходы циркулирующей и подпиточной воды и температура ее в теплоподготовительной установке и на перемычке конечного участка испытываемого кольца. Результаты измерений фиксируются одновременно через каждые 30 мин.

Показателем достижения установившегося теплового состояния грунта на испытываемом кольце является длительное постоянство температуры воды в обратной линии кольца на входе в теплоподготовительную установку.

Процесс достижения установившегося теплового состояния считается завершенным, если температура воды в этой точке кольца остается постоянной в течение 4-6 ч.

Продолжительность достижения установившегося теплового состояния испытываемого кольца зависит от степени предварительного прогрева грунта и обычно находится в пределах $(2 \div 8)\,\tau_к$, где $\tau_к$ - продолжительность (ч) пробега частиц воды по испытываемому кольцу, определяемое по формуле (29).

Продолжительность периода достижения установившегося теплового состояния кольца существенно сокращается, если перед испытаниями горячее водоснабжение потребителей, присоединенных к испытываемой магистрали, осуществлялось при температуре воды в подающей линии, близкой к $t_{п.и}$.

5.7.5. Начиная с момента достижения установившегося теплового состояния во всех намеченных точках наблюдения устанавливаются термометры и производится измерение температуры воды. Запись показаний термометров и расходомеров ведется одновременно с интервалом 10 мин. Продолжительность основного режима испытаний, т.е. периода

измерений, во всех точках наблюдений должна составлять не менее $\tau_к$ + (8÷10) ч.

5.7.6. На заключительном этапе испытаний методом "температурной волны" уточняется продолжительность пробега $\tau_к$ частиц воды по циркуляционному кольцу, предварительно определенное по формуле (29). На этом этапе температура воды в подающей линии за 20–40 мин повышается на 10–20°С сверх значения $t_{п.н}$ и поддерживается постоянной на этом уровне в течение 1 ч. Затем с той же скоростью температура воды понижается до значения $t_{п.и}$, которое и поддерживается до конца испытаний.

Гидравлический режим испытаний при прохождении "температурной волны" остается неизменным. Движение "температурной волны" по испытываемому кольцу фиксируется во всех точках наблюдения с интервалом 10 мин, что дает возможность определять фактическую продолжительность пробега частиц воды по каждому участку испытываемого кольца.

Испытания могут быть закончены лишь только после того, как "температурная волна" будет отмечена в обратной линии кольца на входе в теплоподготовительную установку.

5.7.7. Суммарная продолжительность основного режима испытаний в периода пробега "температурной волны" составляет $2\tau_к$ + (10÷12) ч.

5.7.8. Если циркуляционное кольцо от источника тепла начинается участком надземной прокладки, то "температурная волна" может быть создана на источнике еще в период основного режима испытаний. Продолжительность испытаний при этом сокращается на продолжительность пробега частиц воды по подающему трубопроводу надземной прокладки.

5.8. Обработка результатов испытаний

5.8.1. В результате испытаний определяются тепловые потери для каждого из участков испытываемого кольца отдельно по подающей и обратной линиям.

5.8.2. Предварительно по каждому наблюдательному пункту должны быть усреднены значения температуры воды, полученные при 20–30 последовательных измерениях в тот период, когда режим испытаний был наиболее близок к установившемуся. За этот же период усредня-

ются значения расходов сетевой и подпиточной воды.

Усредненные значения температуры должны относиться к одним и тем же частицам движущейся воды. Поэтому в расчет вводятся температуры, сдвинутые по времени на фактическую продолжительность пробега частиц между точками измерения, определенную методом "температурной волны".

Для выявления периода, в течение которого температурный режим испытаний был наиболее близок к установившемуся, необходимо построить по всем точкам измерений график изменения температуры частиц воды (рис.2).

5.8.3. Тепловые потери по подающей и обратной линиям для каждого из участков испытываемого кольца определяются по формулам:

$$Q_{п.и} = c\left(G_c - \frac{G_п}{4}\right)\left(t_п^н - t_п^к\right)10^3; \qquad (30)$$

$$Q_{о.и} = c\left(G_c - \frac{3}{4}G_п\right)\left(t_о^н - t_о^к\right)10^3, \qquad (31)$$

где $Q_{п.и}$ и $Q_{о.и}$ – тепловые потери соответственно по подающей и обратной линиям для каждого участка испытываемого кольца, Вт (ккал/ч);

G_c – усредненный расход сетевой воды в подающей линии на выходе из теплоподготовительной установки, кг/с (т/ч);

$G_п$ – усредненный расход подпиточной воды, кг/с (т/ч);

$t_п^н$ и $t_п^к$ – усредненные температуры воды в начале и конце подающей линии на этом участке, °С (см.рис.I);

$t_о^н$ и $t_о^к$ – усредненные температуры воды в начале и конце обратной линии на этом участке, °С (см.рис.I).

5.8.4. При наличии в середине испытанного участка циркуляционного кольца непротяженных отрезков трубопровода с другими типами прокладок или конструкциями изоляции, на которых невозможно измерить температурный перепад, обработка результатов испытаний по этому участку производится следующим образом:

5.8.4.I. По формулам (30) и (31) определяются фактические тепловые потери по подающей и обратной линиям на испытанном участке, включающем нехарактерные отрезки трубопровода.

5.8.4.2. Для каждого нехарактерного отрезка трубопровода

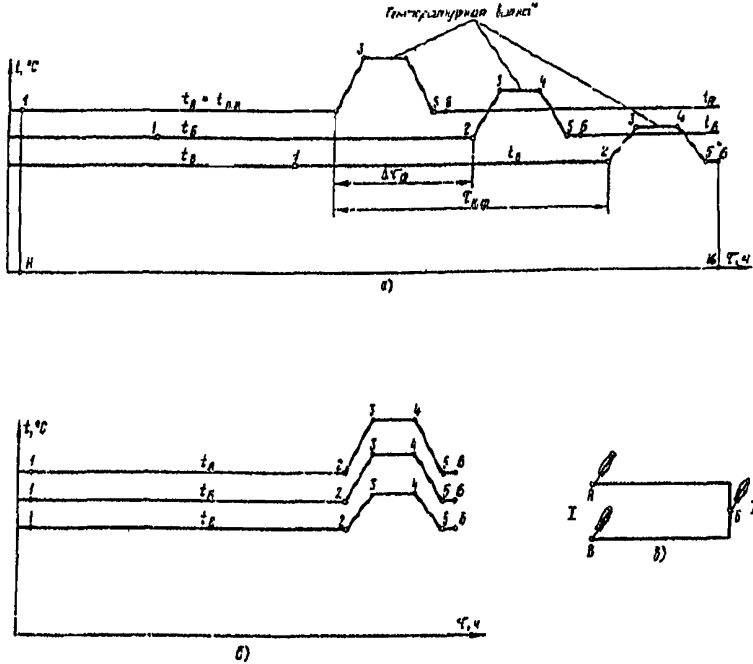

Рис.2. Построение графика изменения температуры частиц воды:

а – график температур воды при испытаниях; *б* – график изменения температуры частиц воды; *в* – схема испытываемого циркуляционного кольца; *Н* – начало испытаний; *К* – конец испытаний; I – теплоподготовительная установка; II – циркуляционная перемычка;

$\Delta\tau_ф$ – фактическая продолжительность пробега частиц воды по циркуляционному кольцу между точками А и Б; $\tau_{к.ц}$ – фактическая продолжительность пробега частиц воды по всему циркуляционному кольцу (между точками А и В). При построении графика изменения температуры частиц воды значений температур в точке Б должны быть сдвинуты по шкале τ на $\Delta\tau_ф$, а в точке В – на $\tau_{к.ц}$

рассчитываются средние температуры воды в отрезке по подающей ($t^{ср}_{п.и}$)' и по обратной ($t^{ср}_{о.и}$)' линиям:

$$(t^{ср}_{п.и})' = t^{н}_{п} - (t^{к}_{п} - t^{к}_{л}) \frac{M_{п.нач} + 0{,}5 M_{п.отр}}{M_{п.уч}}; \qquad (32)$$

$$(t^{ср}_{с.и})' = t^{к}_{о} + (t^{н}_{о} - t^{к}_{о}) \frac{M_{о.нач} + 0{,}5 M_{о.отр}}{M_{о.уч}}, \qquad (33)$$

где $M_{п.уч}$ и $M_{о.уч}$ – материальные характеристики соответственно подающей и обратной линий на всем испытанном участке циркуляционного кольца, $м^2$;

$M_{п.нач}$ и $M_{о.нач}$ – материальные характеристики соответственно подающей и обратной линий части участка циркуляционного кольца от начала участка до места расположения нехарактерного отрезка трубопровода, $м^2$;

$M_{п.отр}$ и $M_{о.отр}$ – материальные характеристики соответственно подающей и обратной линий нехарактерного отрезка трубопровода, $м^2$.

5.8.4.3. По методу, указанному в п.5.4.8 настоящих Методических указаний, определяются приближенные тепловые потери нехарактерного отрезка трубопровода при температурном режиме испытаний; при этом ℓ – длина нехарактерного отрезка (м), а значения $q_{н.и}$, $q_{н.п.и}$ и $q_{н.о.и}$ находятся по температурам $(t^{ср}_{п.и})'$ и $(t^{ср}_{о.и})'$ и температурам грунта и воздуха, указанным в п. 5.9.I настоящих Методических указаний.

5.8.4.4. Фактические тепловые потери по основной части испытанного участка циркуляционного кольца (без нехарактерных отрезков трубопроводов) определяются как разность тепловых потерь по каждой из линий, найденных в пп. 5.8.4.I и 5.8.4.3 настоящих Методических указаний. Эта разность и должна участвовать в дальнейшей обработке результатов испытаний.

5.9. Сопоставление измеренных тепловых потерь с нормативными

5.9.I. Для разработки на основе результатов испытаний нормируемых эксплуатационных тепловых потерь данной тепловой сети в целом измеренные значения этих потерь по каждому испытанному

участку должны быть сопоставлены с нормативными значениями тепловых потерь для того же участка сети.

Для сопоставления с нормативным измеренные значения тепловых потерь по каждому испытанному участку должны быть предварительно пересчитаны на среднегодовые условия работы данной тепловой сети (температура воды в подающей и обратной линиях сети, а также окружающей среды).

Для участков подземной прокладки пересчет измеренных тепловых потерь на среднегодовые условия работы сети выполняется суммарно для подающей и обратной линий по формуле

$$Q_{н.и}^{ср.г} = \frac{Q_{п.и}\left(t_п^{ср.г} - t_{гр}^{ср.г}\right) + Q_{о.и}\left(t_о^{ср.г} - t_{гр}^{ср.г}\right)}{\frac{t_п^н + t_п^к + t_о^н + t_о^к}{4} - t_{гр.и}}, \qquad (34)$$

а для участков надземной прокладки такой пересчет выполняется отдельно для подающей и обратной линий по формулам:

$$Q_{н.п.и}^{ср.г} = \frac{Q_{п.и}\left(t_п^{ср.г} - t_в^{ср.г}\right)}{\frac{t_п^н + t_п^к}{2} - t_{в.и}}; \qquad (35)$$

$$Q_{н.о.и}^{ср.г} = \frac{Q_{о.и}\left(t_о^{ср.г} - t_в^{ср.г}\right)}{\frac{t_о^н + t_о^к}{2} - t_{в.и}}, \qquad (36)$$

где $Q_{н.и}^{ср.г}$, $Q_{н.п.и}^{ср.г}$ и $Q_{н.о.и}^{ср.г}$ – пересчитанные на среднегодовые условия работы сети измеренные тепловые потери по каждому испытанному участку кольца, Вт(ккал/ч);

$t_{гр.и}$ и $t_{в.и}$ – температура грунта и окружающего воздуха, средняя за время испытаний, °С.

Остальные обозначения – см. пп.5.4.2 и 5.8.3 настоящих Методических указаний.

5.9.2. Значения $Q_{н.и}^{ср.г}$, $Q_{н.п.и}^{ср.г}$ и $Q_{н.о.и}^{ср.г}$, подсчитанные по формулам (34)-(36) для всех испытанных участков сети, должны быть сопоставлены с соответствующими нормативными величинами тепловых потерь $Q_н^{ср.г}$, $Q_{н.п}^{ср.г}$ и $Q_{н.о}^{ср.г}$, которые определяются для каждого из испытанных участков согласно п.2.3-2.3.5 настоящих Методических указаний.

При этом в формулах (I)-(3) суммирование должно производиться по всем диаметрам труб на данном участке.

При сопоставлении измеренных и нормативных тепловых потерь подсчитываются их соотношения, характеризуемые коэффициентами К, равными для участков подземной прокладки:

$$K = \frac{Q^{ср.г}_{н.и}}{Q^{ср.г}_{н}}, \qquad (37)$$

а для участков надземной прокладки:

$$K_{п} = \frac{Q^{ср.г}_{н.п.и}}{Q^{ср.г}_{н.п}}; \qquad (38)$$

$$K_{о} = \frac{Q^{ср.г}_{н.о.и}}{Q^{ср.г}_{н.о}} \qquad (39)$$

5.9.3. Для участков с измеренными тепловыми потерями, существенно превышающими нормативные, т.е. со значениями коэффициента $K > I,I$, в дальнейшем составляется программа работ с целью доведения тепловых потерь этих участков до нормативных значений. Объем, содержание и сроки проведения таких работ определяются местными условиями.

В тех случаях, когда измеренные тепловые потери, определенные раздельно по каждому испытанному участку и пересчитанные на среднегодовые температуры воды и окружающей среды, не превышают или незначительно превышают соответствующие значения нормативных тепловых потерь для этих участков ($K \leq I,I$), за основу нормирования эксплуатационных тепловых потерь сети принимаются измеренные тепловые потери. Полученные таким путем нормируемые значения эксплуатационных тепловых потерь сети утверждаются как действующие на срок до проведения следующих тепловых испытаний сети, но не более чем на пять лет.

В тех случаях, когда измеренные тепловые потери по отдельным испытанным участкам существенно превышают нормативные ($K > I,I$), они могут быть положены в основу нормирования эксплуатационных тепловых потерь сети лишь на срок выполнения программы работ по доведению этих потерь до нормативных, но не более чем на три года.

5.9.4. Пример расчета тепловых потерь через изоляцию трубопроводов приведен в приложении 9.

6. ТЕПЛОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПАРОВЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ (ПАРОПРОВОДОВ)

6.1. Задачи испытаний и последовательность работ

6.1.1. Испытания паропроводов должны проводиться в соответствии с правилами устройства и безопасной эксплуатации при согласовании с органами Госгортехнадзора СССР (для трубопроводов 1,2-й и 3-й категорий) или с "предприятиями-владельцами" (для трубопроводов 4-й категории).

6.1.2. Испытания паропроводов проводятся при температурах и давлениях пара, равных расчетным или ниже их при обеспечении минимального значения перегрева пара в конечной точке испытуемой магистрали не менее чем на 15°С.

6.1.3. Задачей тепловых испытаний паропроводов является определение тепловых потерь через наружные изоляционные конструкции испытуемых участков трубопроводов при выбранном режиме и сопоставление их с нормативными значениями по тем же участкам (например, см. приложения 4 и 5).

6.1.4. Перед испытаниями должна быть восстановлена разрушенная тепловая изоляция, осушены камеры, приведены в порядок дренажи и т.д.

6.1.5. Испытания состоят из следующих этапов:

- анализ проектных и эксплуатационных материалов по испытуемому паропроводу;
- выбор участков паропровода, подлежащих испытанию;
- определение параметров испытаний;
- подготовка трубопроводов и оборудования к испытаниям;
- подготовка измерительной аппаратуры;
- проведение испытаний;
- обработка результатов испытаний;
- сопоставление фактических тепловых потерь с нормативными.

6.2. Анализ материалов по испытуемому паропроводу

6.2.1. Подготовка к испытаниям начинается с анализа схемы паропроводов, оборудования источника и потребителей пара и их режимов, типов прокладки, а также конструкции изоляции и ее состояния.

Все данные по паропроводам указываются на схеме (рис.3) и сводятся в таблицу содержащую данные о диаметрах трубопроводов, длинах участков, конструкциях изоляции и типах прокладки (прокладка в непроходном канале, в тоннеле, надземная прокладка в помещениях). Образец таблицы приведен в приложении 6 (табл.П.6.1).

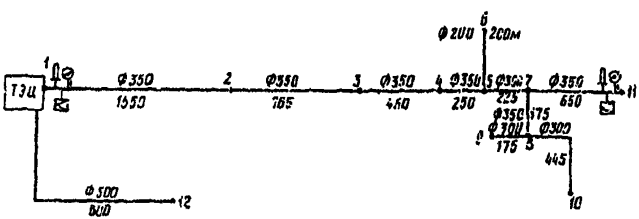

Рис. 3. Схема паропроводов:

$\frac{\text{Ø } 300}{175}$ – диаметр паропровода (мм)/ длина участка (м);

– термометр; – манометр; – дифманометр

6.2.2. Для пересчета полученных при испытаниях данных на различные эксплуатационные режимы работы паропроводов и для определения параметров испытаний используются климатологические данные по окружающей среде (t_0) для местности, в которой расположены паропроводы: – среднегодовые и среднемесячные температуры грунта ($t_{гр}^{ср.г}$, $t_{гр}^{ср.м}$) на уровне оси трубопровода при подземной прокладке и наружного воздуха ($t_в^{ср.г}$, $t_в^{ср.м}$) при надземной прокладке. Эти данные следует принимать из климатических справочников или по данным ближайшей метеостанции. При отсутствии обобщенных данных средние температуры должны приниматься по средневзвешенным значениям

$$t_{ср} = \frac{\sum t_i n_i}{\sum n_i}, \qquad (40)$$

где t_i – температура в течение определенного периода;

n_i – продолжительность определенного периода.

6.3. Выбор участков паропроводов, подлежащих испытаниям

6.3.1. Испытаниям следует подвергать участки, тип изоляционной конструкции которых является преобладающим для данного паропровода. Это облегчает распространение результатов испытаний на всю сеть паропроводов.

6.3.2. Выбор испытуемого участка производится на основе соотношения $(M_и / M_с) \geq 0{,}15$,

где $M_и = \Sigma(d_н \ell_и)$ – материальная характеристика всех участков испытуемого паропровода, м^2;

$M_с = \Sigma(d_н \ell_с)$ – материальная характеристика всей сети рассматриваемых паропроводов, м^2;

$d_н$ – наружный диаметр труб, м;

ℓ – протяженность паропровода, м.

Выявление испытуемых участков следует производить с учетом характеристик сети паропроводов.

6.4. Определение параметров испытаний

6.4.1. Надежное определение тепловых потерь возможно при постоянных параметрах перегретого пара на источнике и у потребителя (по температуре и давлению разброс 3%, по расходу – 10-15%).

6.4.2. Постоянное давление и температуры на источнике обеспечивается поддержанием постоянных технологических режимов (электрической нагрузки турбин, режимов парообразования в котлах и т.д.).

6.4.3. Постоянный расход пара по трассе достигается регулированием расхода пара на коллекторах у абонентов путем увеличения или уменьшения сброса пара в атмосферу через специальные дренажные трубопроводы.

6.4.4. Исходя из условия поддержания требуемого давления пара у потребителя и перегрева на 15°С пара на конечном пункте испытуемого участка (см. п.6.1.2) определяются конечные давление (P_2) и температура (τ_2) испытуемого участка паропровода.

Начальная температура (τ_1) пара определяется из выражения

$$\tau_1 = \left[(\tau_2 - t_0) e^{\frac{\ell(1+\beta)}{RGc}}\right] + t_0 \quad , \qquad (41)$$

где t_0 – температура окружающей среды (температура грунта или воздуха в зависимости от типа прокладки), °С;

β – коэффициент местных тепловых потерь; предварительно рекомендуется принимать β = 0,25;

R – термическое сопротивление изоляционной конструкции испытуемого участка (определяется путем теплового расчета существующей конструкции с применением табличных данных), м · °С · с/кДж;

G – расчетный расход пара, кг/с;

c – удельная изобарная теплоемкость пара при средней температуре $\tau_{ср} = \tau_2 + 30$°С, кДж/(кг · °С).

После вычисления τ_1' уточняется c (при температуре $\tau_{ср} = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2}$) и расчет повторяется до получения разницы $(\tau_1^n - \tau_1^{n+1}) \leq 5$°, где τ_1^n и τ_1^{n+1} – температура в начале паропровода при (n) и ($n+1$) расчете. Начальное абсолютное давление пара (МПа) определяется из выражения

$$p_1 = \frac{h_1(1+\alpha)(273+\tau_{ср})\ell}{(273+\tau_1)} + \sqrt{\left[\frac{h_1(1+\alpha)(273+\tau_{ср})\ell}{(273+\tau_1)}\right]^2 + p_2^2}, \qquad (42)$$

где h_1 – удельное падение давления

$$h_1 = A_R \frac{G^2}{\rho_1 d^{5,25}} 10^{-6}, \text{ МПа/м}, \qquad (43)$$

здесь A_R – обобщенный коэффициент, равный $10{,}6 \cdot 10^{-3}$ м^{0,25};

ρ_1 – плотность пара в начале паропровода, кг/м^3;

d – внутренний диаметр трубопровода, м;

α – коэффициент местных потерь давления; предварительно рекомендуется принимать α = 0,25.

По перепаду давления $\Delta p = p_1 - p_2$ определяется падение температуры пара на участке за счет дроссель-эффекта

$$\Delta\tau_д = \frac{\partial\tau}{\partial p}\Delta p, \qquad (44)$$

где $\frac{\partial\tau}{\partial p}$ – дифференциальный дроссель-эффект, °С/МПа [принимается при p_1 = 3,5÷1,5 МПа и τ_1 = 300÷350°С равным (12÷14) °С/МПа]; при других параметрах пара дроссель-эффект определяется по диаграммам или

таблицам теплофизических свойств водяного пара по изоэнтальпиям (по линии постоянной энтальпии).

Начальная температура пара с учетом дроссель-эффекта

$$T_{1\partial} = T_1 + \Delta T_\partial . \qquad (45)$$

6.5. Подготовка паропровода и оборудования к испытаниям

Перед началом работ все ответвления, не подвергающиеся проверке, отсоединяются от испытуемого участка. Плотность отсоединения должна быть тщательно проверена.

6.6. Подготовка измерительной аппаратуры

6.6.1. Измерению подлежат: расход, температура и давление пара в начало и конец испытуемого паропровода, а также температура и давление пара на отдельных участках, температура наружного воздуха и барометрическое давление.

6.6.2. Измерение расходов пара осуществляется установкой измерительных диафрагм у источника и потребителей на перепад давления 0,053 МПа (400 мм рт.ст). Расчет и установка новых диафрагм должны производиться в соответствии с "Правилами измерения расхода жидкостей, газов и паров стандартными диафрагмами и соплами РД-50-213-80"(М.: Стандартгиз, 1982).

6.6.3. Измерение температуры производится установкой ртутных термометров или термоэлектрических термометров (термопар) в соответствии с требованиями, указанными ГОСТ 8.279-78 и ГОСТ 8.317-78.

Ртутные термометры должны иметь шкалу с ценой деления (0,1÷0,5) °С. Гильза термометра должна быть врезана так, чтобы ртутный баллон находился на оси трубы. В случае выступания столбика ртути из гильзы при измерениях более 50 мм к основному термометру прикрепляется вспомогательный для определения поправки на температуру выступающего столбика.

6.6.4. Давление пара измеряется с помощью манометров типа ИТИ (класс 0,6), которые устанавливаются в соответствии с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации.

6.6.5. Все измерительные приборы перед их установкой тарируются и проверяются: точно измеряются диаметры отверстий диаф-

рами и проверяется качество острой кромки, промываются, опрессовываются и проверяются ртутные дифференциальные манометры, проверяются термометры и манометры, термоэлектрические термометры подвергаются индивидуальной градуировке.

6.6.6. Места установки измерительной аппаратуры указываются на схеме испытуемого паропровода.

6.7. Проведение тепловых испытаний паропровода

6.7.I. Рабочая программа испытаний согласовывается в соответствии с п.6.I.I и содержит:

- схемы и режимы работы источника, паропровода и потребителя;
- расположение точек наблюдения и количество наблюдателей;
- перечень ответственных представителей по проведению испытаний;
- необходимые мероприятия по соблюдению действующих правил техники безопасности при обслуживании тепловых сетей.

6.7.2. Осуществление режимов испытания производится следующим образом:

- включаются дифференциальные манометры в начале и конце паропровода;
- устанавливается расчетный расход пара, который поддерживается постоянным в течение всего периода испытаний, давление P_1 и температура $\tau_{1д}$;
- прогревается паропровод (и грунт при подземной прокладке) до установления постоянной температуры на конечном участке (в течение 2-5 ч). Продолжительность этого периода значительно сокращается при предварительном прогреве грунта;
- после установления испытательного режима во всех точках измеряется температура, давление и расход пара через каждые I0 мин в течение 2 ч.

6.8. Обработка результатов испытаний

6.8.I. Строятся графики расходов, абсолютных давлений и температур по всем испытуемым участкам паропровода.

6.8.2. Подсчитываются средние значения всех параметров

пара в период испытания и вводятся поправки (при определении абсолютного давления кроме тарировочных поправок учитывается барометрическое давление).

6.8.3. Составляются таблицы с данными расходов, давлений и температур по каждому испытуемому участку (см. табл. П.6.2 и П.6.3 приложения 6).

6.8.4. Определяются тепловые потери на каждом участке по формуле

$$Q_i = G_i (i_1 - i_2), \qquad (46)$$

где G_i – средний расход пара на участке, кг/с;

i_1 – начальная энтальпия пара, кДж/кг;

i_2 – конечная энтальпия пара, кДж/кг.

6.8.5. Определяются удельные тепловые потери

$$q_i = \frac{Q_i}{\ell (1+\beta)} \qquad (47)$$

6.8.6. Термическое сопротивление участка

$$R_i = \frac{\tau_i^{ср} - t_0}{q_i}, \qquad (48)$$

где $\tau_i^{ср} = \frac{\tau_{i1} + \tau_{i2}}{2}$ – средняя температура на участке, °С;

t_0 – температура окружающей среды – наружного воздуха для надземной прокладки и грунта на уровне оси трубопровода при подземной прокладке, °С.

6.8.7. Значение перегрева пара в любой точке паропровода

$$\Delta\tau = \tau_i - \tau_н, \qquad (49)$$

где $\tau_н$ – температура насыщения пара, определяемая по таблицам или диаграммам по давлению P_i, °С.

6.8.8. Значения q_i, R_i, $\Delta\tau$ заносятся в табл. П.6.2.

6.9. Сопоставление измеренных тепловых потерь с нормативными

6.9.1. Для сравнения фактических тепловых сетей с нормативными необходимо пересчитать данные, полученные при испытаниях на среднегодовые условия работы паропровода. При этом принимается,

что значения термических сопротивлений (R_i) участков паропровода - постоянны, характеризуют качество изоляции и прокладки паропровода.

В том случае, если при эксплуатационных режимах пар находится в перегретом состоянии, пересчет производится по формулам (41) и (43-49) с учетом средних температур окружающей среды (см. п. 6.2.2). При отсутствии измерений давления на промежуточных участках эти значения могут быть получены по известным начальным параметрам пара:

$$p_2 = p_1 \sqrt{1 - \frac{2h_i(1+\alpha)}{p_1} \frac{273+\tau_{ср}}{273+\tau_1} \ell} \qquad (50)$$

Результаты пересчета (фактические средние тепловые потери) сравниваются с нормативными тепловыми потерями и составляется заключение о состоянии паропроводов.

6.9.2. В том случае, если при эксплуатационных режимах пар становится влажным, пересчет производится следующим образом:

- исходные данные: давление и температура пара у источника и расход пара у источника и потребителей; По формуле (41) определяется распределение τ_{i2} по трассе;

- по формуле (50) определяется падение давления p_{i2} по трассе и в соответствии с линией давлений строится линия температур насыщения $\tau_н$;

- пересечение линий $\tau_н$ и τ_{i2} дает точку перехода пара из перегретого во влажное состояние ($\tau_{1вл}$);

- удельные тепловые потери паропровода на участке $\ell_{вл}$ с влажным паром

$$q = \frac{\tau_{вл}^{ср} - t_0}{R_{уч}} , \qquad (51)$$

где $\tau_{вл}^{ср} = \frac{\tau_{1вл} + \tau_{2вл}}{2}$ - средняя температура насыщения на участке $\ell_{вл}$, °С;

$\tau_{2вл}$ - температура пара в конце участка $\ell_{вл}$, равная температуре насыщения при $p_{2вл}$, °С;

- суммарные потери участка с влажным паром определяются по формуле

$$Q = q\,\ell_{вл}(1+\beta) ; \qquad (52)$$

- энтальпия влажного пара (смеси сухого пара и конденсата) в конце участка $\ell_{вл}$ определяется по формуле

$$i_{2вл} = i_{1вл} - \frac{Q}{G}; \qquad (53)$$

где $i_{1вл}$ - энтальпия пара в точке перехода из перегретого в насыщенное состояние, кДж/кг;

- степень влажности пара в конце участка определяется по формуле

$$y = \frac{i_{1вл} - i_{2вл}}{r}, \qquad (54)$$

где r - скрытая теплота парообразования, кДж/кг;

- степень сухости пара:

$$x = 1 - y = \frac{i_{2вл} - i_{2ж}}{r}; \qquad (55)$$

где $i_{2ж}$ - теплосодержание жидкости в конечной точке, кДж/кг;

- количество выпавшего конденсата, кг/с:

$$G_{конд} = yG. \qquad (56)$$

Результаты расчетов по участку с влажным паром проверяются по формулам теплового и материального баланса:

$$i_{1вл} G_{1п} = i_{1вл} G_{2п} + c G_{2в} \tau_2 + Q_{1-2}; \qquad (57)$$

$$G_{1п} = G_{2п} + G_{2в}, \qquad (58)$$

где $G_{1п}$ - расход пара в начале участка с влажным паром, кг/с;

$G_{2п}$ - расход пара в конце участка с влажным паром, кг/с;

$G_{2в}$ - расход сконденсировавшейся влаги в конце участка с влажным паром, кг/с;

Q_{1-2} - тепловые потери участка с влажным паром, кДж/с.

Формула (57) может быть выражена следующим образом

$$i_{1вл} G_{1п} = i_{2вл} (G_{2п} + G_{2в}) + Q_{1-2} \qquad (59)$$

7. НОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ПАРОПРОВОДАМИ

7.1. При определении нормируемых значений часовых среднегодовых (или среднемесячных) эксплуатационных тепловых потерь паропроводами через изоляционную конструкцию исходят из следующих положений:

участки типа А – для испытанных участков используются значения измеренных тепловых потерь с пересчетом на среднегодовой режим работы;

участки типа Б – для участков, не подвергавшихся испытаниям, но имеющих типы прокладки и конструкции изоляции аналогичные испытанным участкам, используются нормативные значения среднегодовых тепловых потерь (см. п.7.4 настоящих Методических указаний) для данных паропроводов с введением коэффициента К, значения которого принимаются в соответствии с результатами испытаний:

$$K = \frac{Q^{ср.г}_{н.и}}{Q^{ср.г}_{н.в}} \qquad (60)$$

Значения $Q^{ср.г}_{н.и}$ и $Q^{ср.г}_{н.в}$ определяются по формулам (62) и (64). Более точно нормируемые значения тепловых потерь для этого типа конструкций определяются в такой последовательности:

– по данным испытаний определяется фактический усредненный коэффициент теплопроводности тепловой изоляции;

– по существующим диаметрам теплопроводов и толщинам теплоизоляционных слоев подсчитываются нормируемые тепловые потери;

участки типа В – для участков паропроводов, не подвергавшихся испытаниям и имеющих типы прокладок или конструкции изоляции, отличные от испытанных участков, принимаются нормативные значения среднегодовых теплопотерь без введения поправочных коэффициентов;

– нормируемые значения среднегодовых эксплуатационных тепловых потерь всей сетью паропроводов получаются путем суммирования потерь по охарактеризованным выше группам участков.

7.2. Нормативные значения среднегодовых тепловых потерь принимаются исходя из действующих норм тепловых потерь для различных типов прокладок паропроводов или на основании технико-экономического расчета.

Поскольку приведенные в действующих нормах значения темпе-

ратур окружающей среды и теплоносителя, как правило, не соответствуют температурам для конкретных паропроводов, необходим пересчет этих значений на условия работы последних.

7.3. Нормативные значения среднегодовых тепловых потерь для конкретного паропровода при нормативных значениях средних температур пара и окружающей среды определяются по формуле

$$Q_{н}^{ср.г} = \sum \ell (1+\beta) q_{н} \,, \qquad (61)$$

где $q_{н}$ – нормативное значение удельных тепловых потерь паропроводов $\left[\frac{кДж}{м \cdot с} \left(\frac{кВт}{м}\right)\right]$ – принимается по приложениям 4 или 5.

7.4. Нормируемые значения среднегодовых тепловых потерь паропроводами определяются по каждой группе участков.

Участки типа А:

$$Q_{н.а}^{ср.г} = \frac{Q_{и}\left(\tau_{э}^{ср.г} - t_{о.э}^{ср.г}\right)}{\left(\tau_{и}^{ср} - t_{о.и}\right)} \,, \qquad (62)$$

где $Q_{и}$ – измеренные тепловые потери, кДж/с (кВт);
$\tau_{и}^{ср}$ – средняя температура пара при испытаниях, °С;
$t_{о.и}$ – температура окружающей среды при испытаниях, °С;
$\tau_{э}^{ср.г}$ – средняя годовая температура пара при эксплуатации паропровода, °С;
$t_{о.э}^{ср.г}$ – средняя годовая температура окружающей среды, °С.

Участки типа Б:

$$Q_{н.б}^{ср.г} = K Q_{н}^{ср.г} \frac{\left(\tau_{э}^{ср.г} - t_{о.э}^{ср.г}\right)}{\left(\tau_{н}^{ср.г} - t_{о.н}^{ср.г}\right)} \,, \qquad (63)$$

где K принимается в соответствии с п. 7.1;
$\tau_{н}^{ср.г}$ – средняя годовая температура пара по нормам, °С;
$t_{о.н}^{ср.г}$ – средняя годовая температура окружающей среды по нормам, °С;

Участки типа В:

$$Q_{н.в}^{ср.г} = Q_{н}^{ср.г} \frac{\left(\tau_{э}^{ср.г} - t_{о.э}^{ср.г}\right)}{\left(\tau_{н}^{ср.г} - t_{о.н}^{ср.г}\right)} \qquad (64)$$

7.5. Нормируемые значения среднегодовых тепловых потерь всей сети паропроводов определяются по формуле

$$\Sigma Q_н^{ср.г} = Q_{н.л}^{ср.г} + Q_{н.б}^{ср.г} + Q_{н.в}^{ср.г} . \qquad (65)$$

7.6. Нормируемые значения среднемесячных потерь теплоты паропроводами определяются по формулам (62)-(64) с учетом среднемесячных температур пара и окружающей среды.

7.7. Нормируемые значения месячных потерь теплоты паропроводом определяются по формуле

$$Q_н^м = (\Sigma Q_н^{ср.м}) 3,6 n , \qquad (66)$$

где $Q_н^м$ дано в МДж;

n – продолжительность работы паропровода в течение месяца, ч

7.8. Нормируемое значение годовых тепловых потерь паропроводами через изоляционные конструкции определяется как сумма месячных тепловых потерь

$$Q_н^г = \Sigma Q_н^м \qquad (67)$$

7.9. При тепловых испытаниях должны выявляться тепловые потери паропроводов за счет утечек пара и конденсата и предприниматься мероприятия по их устранению.

7.10. Пример расчета тепловых потерь через изоляцию трубопроводов паровой теплопой сети приведен в приложении 6.

Приложение I

НОРМЫ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ИЗОЛИРОВАННЫМИ ВОДЯНЫМИ ТЕПЛОПРОВОДАМИ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ БЕСКАНАЛЬНОЙ ПРОКЛАДКЕ И ПРОКЛАДКЕ В НЕПРОХОДНЫХ КАНАЛАХ С РАСЧЕТНОЙ СРЕДНЕГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ГРУНТА +5°С НА ГЛУБИНЕ ЗАЛОЖЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДОВ

Наружный диаметр труб $d_н$, мм	Нормы тепловых потерь, Вт/м [(ккал/(м·ч)], для		
	двухтрубной прокладки при разности среднегодовых температур воды и грунта 52,5°С	двухтрубной прокладки при разности среднегодовых температур воды и грунта 65°С	двухтрубной прокладки при разности среднегодовых температур воды и грунта 75°С
32	52(45)	60(52)	67(58)
57	65(56)	75(65)	84(72)
76	75(64)	86(74)	95(82)
89	80(69)	93(80)	102(88)
108	88(76)	102(88)	111(96)
159	109(94)	124(107)	136(117)
219	131(113)	151(130)	165(142)
273	154(132)	174(150)	190(163)
325	173(149)	195(168)	212(183)
377	-	212(183)	234 202)
426	-	235(203)	254(219)
478	-	259(223)	280(241)
529	-	282(243)	303(261)
630	-	321(277)	345(298)
720	-	355(306)	379(327)
820	-	396(341)	423(364)
920	-	433(373)	463(399)
1020	-	475(410)	506(436)

Приложение 2

НОРМЫ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ОДНИМ ИЗОЛИРОВАННЫМ ВОДЯНЫМ ТЕПЛОПРОВОДОМ ПРИ НАДЗЕМНОЙ ПРОКЛАДКЕ С РАСЧЕТНОЙ СРЕДНЕГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА +5°С

Наружный диаметр трубопровода $d_н$, мм	Нормы тепловых потерь, Вт/м [ккал/(м·ч)]			
	Разность среднегодовых температур воды и воздуха, °С			
	45	70	95	120
32	17(15)	27(23)	36(31)	44(38)
48	21(18)	31(27)	42(36)	52(45)
57	24(21)	35(30)	46(40)	57(49)
76	29(25)	41(35)	52(45)	64(55)
89	32(28)	44(38)	58(50)	70(60)
108	36(31)	50(43)	64(55)	78(67)
133	41(35)	56(48)	70(60)	86(74)
159	44(38)	58(50)	75(65)	93(80)
194	49(42)	67(58)	85(73)	102(88)
219	53(46)	70(60)	90(78)	110(95)
273	61(53)	81(70)	101(87)	124(107)
325	70(60)	93(80)	116(100)	139(120)
377	82(71)	108(93)	132(114)	157(135)
426	95(82)	122(105)	148(128)	174(150)
478	103(89)	131(113)	158(136)	186(160)
529	110(95)	139(120)	168(145)	197(170)
630	121(104)	154(133)	186(160)	220(190)
720	133(115)	168(145)	204(176)	239(206)
820	157(135)	195(168)	232(200)	270(233)
920	180(155)	220(190)	261(225)	302(260)
1020	209(180)	255(220)	296(255)	339(292)
1420	267(230)	325(280)	377(325)	441(380)

Приложение 3

ПРИМЕР РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ИЗОЛЯЦИЮ ТРУБОПРОВОДОВ ВОДЯНОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

I. Исходные данные

Тепловые потери определяются для двухтрубной водяной сети. Материальная характеристика этой сети для разных типов прокладок и конструкций изоляции приведена в табл. П.3.I.

Таблица П.3.I

Материальная характеристика двухтрубной водяной тепловой сети

Тип прокладки и конструкция изоляции трубопроводов	Наружный диаметр подающего или обратного трубопровода $d_{н}$, м	Длина подающего или обратного трубопровода l, м	Материальная характеристика $M=d_{н}\,l$, $м^2$	Объем трубопроводов V, $м^3$
По всем участкам сети				
Надземная прокладка, изоляция из минеральной ваты	0,426	2180	930	-
	0,108	2365	255	-
Итого ...	-	4545	1185	-
Подземная канальная прокладка, изоляция из минеральной ваты	0,325	2500	812	-
	0,273	1500	409	-
	0,219	2160	473	-
	0,159	5150	820	-
	0,108	4325	467	-
	0,076	1055	80	-
	0,057	585	33	-
Итого ...	-	17275	3094	-

Окончание таблицы П.3.1

Тип прокладки и конструкция изоляции трубопроводов	Наружный диаметр подающего или обратного трубопровода $d_н$, м	Длина подающего или обратного трубопровода ℓ, м	Материальная характеристика $M=d_н \ell$, м²	Объем трубопроводов V, м³
Подземная канальная прокладка, изоляция из диатомового кирпича	0,219	2500	548	-
	0,159	2065	328	-
	0,108	3085	333	-
	0,076	2600	198	-
	0,057	2310	131	-
Итого ...	-	12560	1538	-
Всего по сети ...	-	-	5817	-
По испытываемым участкам сети				
Участок 1				
Надземная прокладка, изоляция из минеральной ваты	0,426	2180	930	2x285
Итого ...	-	2180	930	2x285
Участок 2				
Подземная канальная прокладка, изоляция из минеральной ваты	0,325	2500	812	2x185
	0,278	1500	409	2x78
Итого ...	-	4000	1221	2x263
Участок 3				
Подземная канальная прокладка, изоляция из диатомового кирпича	0,219	2500	548	2x81
Итого ...	-	2500	548	2x81
Всего ...	-	-	2699	2x629= =1258

Примечание. Расположение участков на тепловой сети приведено на рис.1.

Для испытываемой сети приняты:

- среднегодовые температуры наружного воздуха и грунта на уровне оси теплопроводов:

$$t_в^{ср.г}=0^{\circ}C \quad и \quad t_{гр}^{ср.г}=+4^{\circ}C;$$

- температуры наружного воздуха и грунта на уровне оси теплопроводов, средние за месяц проведения испытаний:

$$t_{в.и}^{ср.м}=+15^{\circ}C \; и \; t_{гр.и}^{ср.м}=+7^{\circ}C;$$

- средние температуры воды и окружающей среды за один из месяцев работы сети $t_п^{ср.м}=92^{\circ}C$; $t_о^{ср.м}=50^{\circ}C$; $t_в^{ср.м}=-6^{\circ}C$; $t_{гр}^{ср.м}=+3^{\circ}C$ (среднемесячные температуры воды находятся по температурному графику сети при среднемесячной температуре наружного воздуха);

- среднегодовые температуры воды в подающей и обратной линиях, определенные как среднеарифметические из среднемесячных температур ее в этих линиях:

$$t_п^{ср.г}=78^{\circ}C; \qquad t_о^{ср.г}=46^{\circ}C.$$

2. Выбор участков сети, подлежащих испытаниям

Выбор типов прокладки и конструкций изоляции, которые необходимо подвергнуть испытаниям, производится на основании табл. П.3.1.

Доля материальной характеристики участков с различными типами прокладки и конструкциями изоляции в материальной характеристике сети в целом в данном случае составляет:

- для участков надземной прокладки с изоляцией из минеральной ваты

$$\frac{M}{M_c}=\frac{1185}{5817}=0{,}204 > 0{,}15;$$

- для участков подземной прокладки с изоляцией из минеральной ваты

$$\frac{M}{M_c}=\frac{3094}{5817}=0{,}532 > 0{,}15;$$

- для участков подземной прокладки с изоляцией из диатомового кирпича

$$\frac{M}{M_c} = \frac{1538}{5817} = 0{,}264 > 0{,}15.$$

Таким образом, все три применённых в данных тепловых сетях типа прокладок и конструкции изоляции должны быть подвергнуты испытаниям.

Для испытаний выбрана главная магистраль тепловой сети, типы прокладок и изоляционные конструкции которой охватывают все три типа, подлежащих испытаниям. Схема испытываемого циркуляционного кольца приведена на рис. I.

Характеристика участков испытываемого циркуляционного кольца такова:

участок I - ТЭЦ - ТК-I. Надземная прокладка трубопроводов, изоляция из минеральной ваты;

участок 2 - ТК - ТК-3. Подземная канальная прокладка трубопроводов, изоляция из минеральной ваты;

участок 3 - ТК-3 - ТК-4. Подземная канальная прокладка трубопроводов, изоляция из диатомового кирпича.

3. Расчет параметров испытаний

Снижение температуры воды в испытываемом кольце, определенное по формуле (I6), составляет

$$\Delta t_и = \frac{2}{\left(\frac{548}{2699+2699}\right)} \approx 20^{\circ}C.$$

Усредненные температуры окружающей среды $t_{окр.и}$ и $t_{окр}^{ср.г}$ подсчитываются соответственно по формулам (I9) и (20):

$$t_{окр.и} = \frac{7 \cdot (1221+548) + 15 \cdot 930}{2699} = 9{,}8^{\circ}C;$$

$$t_{окр}^{ср.г} = \frac{4 \cdot (1221+548) + 0 \cdot 930}{2699} = 2{,}6^{\circ}C.$$

Температура воды, поддерживаемая при испытаниях в подающей линии испытываемого кольца на выходе из теплоподготовительной установки, определяется по формуле (I7):

$$t_{п.и} = \frac{78 + 46}{2} + \frac{20}{2} + 9{,}8 - 2{,}6 \approx 79^{0}C.$$

Ожидаемая температура воды в обратной линии испытываемого циркуляционного кольца на входе в теплоподготовительную установку, определяемая по формуле (I8), составляет

$$t_{д.и} = 79\text{-}20 = 59^{0}C.$$

Средние температуры воды соответственно в подающей и обратной линиях испытываемого кольца, определяемые по формулам (25) и (26) равны:

$$t^{ср}_{п.и} = 79 - \frac{20}{4} = 74^{0}C;$$

$$t^{ср}_{д.и} = 59 + \frac{20}{4} = 64^{0}C.$$

Значения нормативных удельных тепловых потерь подающей и обратной линий при наружном диаметре трубопроводов $d_н$, равном 426 мм, для первого испытываемого участка при надземной прокладке, определяемые согласно п. 2.3.3 настоящих Методических указаний путем линейной интерполяции, составляют:

$$q_{н.п} = I22 + \frac{I48 - I22}{95 - 70}\left[(78 - 0) - 70\right] = I30 \text{ Вт/м} \quad \text{или}$$

$$q_{н.п} = I05 + \frac{I28 - I05}{95 - 70}\left[(78 - 0) - 70\right] = II2 \text{ ккал/(м.ч)};$$

$$q_{н.д} = 95 + \frac{I22 - 95}{70 - 45}\left[(46 - 0) - 45\right] = 96 \text{ Вт/м} \quad \text{или}$$

$$q_{н.д} = 82 + \frac{I05 - 82}{70 - 45}\left[(46 - 0) - 45\right] = 83 \text{ ккал/(м.ч)},$$

где I48(I28), I22(I05) и 95(82) – нормативные удельные тепловые потери трубопровода с наружным диаметром $d_н$ =426 мм при над-

земной прокладке 2 соответственно при разности среднегодовых температур воды и окружающего воздуха 95; 70 и 45°С, Вт/м (ккал/м·ч).

Значения нормативных удельных тепловых потерь суммарно по подающей и обратной линиям трубопроводов с наружным диаметром $d_н$, равным 325 и 273 мм, для участка 2 испытываемого кольца при подземной прокладке, определяемые согласно п. 2.3.2 настоящих Методических указаний путем линейной интерполяции, составляют:

$$q_н = 173 + \frac{195 - 173}{65 - 52{,}5}\left[\left(\frac{78 + 46}{2} - 4\right) - 52{,}5\right] = 182 \text{ Вт/м или}$$

$$q_н = 149 + \frac{168 - 149}{65 - 52{,}5}\left[\left(\frac{78 + 46}{2} - 4\right) - 52{,}5\right] = 157 \text{ ккал/(м·ч)};$$

$$q_н = 154 + \frac{174 - 154}{65 - 52{,}5}\left[\left(\frac{78 + 46}{2} - 4\right) - 52{,}5\right] = 162 \text{ Вт/м или}$$

$$q_н = 132 + \frac{150 - 132}{65 - 52{,}5}\left[\left(\frac{78 + 46}{2} - 4\right) - 52{,}5\right] = 140 \text{ ккал/(м·ч)},$$

где 195(168) и 173(149) – нормативные удельные тепловые потери трубопровода с наружным диаметром $d_н$, равным 325 мм, при подземной прокладке и соответственно при разности среднегодовых температур воды и грунта 65 и 52,5°С, а 174(150) и 154(132) – те же величины, но принятые для $d_н$, равного 273 мм; Вт/м [ккал/(м·ч)].

Значения нормативных тепловых потерь $q_н$ суммарно по подающей и обратной линиям для трубопроводов с наружным диаметром $d_н$, равным 219 мм, для участка 3 кольца определяются аналогично и составляет 139 Вт/м, или 120 ккал/(м·ч).

Значения ожидаемых удельных тепловых потерь для испытываемых участков сети при температурном режиме, принятом для проведения испытаний, определяются по формулам (23)–(24) и составляют:

– для участка 1:

$$q_{н.п.и} = I30 \cdot \frac{74-I5}{78-0} = 98 \text{ Вт/м} \quad \text{или}$$

$$q_{н.п.и} = II2 \cdot \frac{74-I5}{78-0} = 85 \text{ ккал/(м·ч)};$$

$$q_{н.о.и} = 96 \cdot \frac{64-I5}{46-0} = I02 \text{ Вт/м} \quad \text{или}$$

$$q_{н.о.и} = 83 \cdot \frac{64-I5}{46-0} = 88 \text{ ккал/(м·ч)};$$

– для участка 2 с диаметром трубопроводов ($d_н$)325 и 273 мм:

$$q_{н.и} = I82 \cdot \frac{74+64-2 \cdot 7}{78 + 46 - 2 \cdot 4} = I95 \text{ Вт/м} \quad \text{или}$$

$$q_{н.и} = I57 \cdot \frac{74 + 64 - 2 \cdot 7}{78 + 46 - 2 \cdot 4} = I68 \text{ ккал/(м·ч)};$$

$$q_{н.и} = I62 \cdot \frac{74 + 64 - 2 \cdot 7}{78 + 46 - 2 \cdot 4} = I74 \text{ Вт/м} \quad \text{или}$$

$$q_{н.и} = I40 \cdot \frac{74 + 64 - 2 \cdot 7}{78 + 46 - 2 \cdot 4} = I50 \text{ ккал/(м·ч)};$$

– для участка 3:

$$q_{н.и} = I39 \cdot \frac{74 + 64 - 2 \cdot 7}{78 + 46 - 2 \cdot 4} = I49 \text{ Вт/м} \quad \text{или}$$

$$q_{н.и} = I20 \cdot \frac{74 + 64 - 2 \cdot 7}{78 + 46 - 2 \cdot 4} = I28 \text{ ккал/(м·ч)}.$$

Длины участков испытываемого циркуляционного кольца с различными диаметрами трубопроводов принимаются по данным табл.П.3.I.

Ориентировочное значение тепловых потерь всем циркуляцион-

ным кольцом при испытаниях, определяемое по формуле (21), составляет:

$$Q_и = (98 + 102) \cdot 1{,}25 \cdot 2180 + 195 \cdot 1{,}2 \cdot 2500 + 174 \cdot 1{,}2 \times 1500 + 149 \cdot 1{,}2 \cdot 2500 = 1890000 \text{ Вт или}$$

$$Q_и = (85 + 88) \cdot 1{,}25 \cdot 2180 + 168 \cdot 1{,}2 \cdot 2500 + 150 \cdot 1{,}2 \cdot 1500 + 128 \cdot 1{,}2 \cdot 2500 = 1629000 \text{ ккал/ч},$$

где $\beta = 1{,}25$ и $1{,}2$ – коэффициенты местных тепловых потерь, принимаемые согласно п. 2.3.5 настоящих Методических указаний.

Расчетный расход воды, принимаемый на время испытаний, определяется по формуле (27)

$$G_и = \frac{1890000}{4{,}187 \cdot 20} \cdot 10^{-3} = 22{,}6 \text{ кг/с}$$

или

$$G_и = \frac{1629000}{1 \cdot 20} \cdot 10^{-3} = 81{,}5 \text{ т/ч}.$$

Ожидаемое значение подпитки испытываемого циркуляционного кольца составляет:

$$G_п = 0{,}005 \cdot 1258 : 3{,}6 = 1{,}75 \text{ кг/с} \quad \text{или}$$

$$G_п = 0{,}005 \cdot 1258 = 6{,}3 \text{ т/ч}.$$

Ожидаемая продолжительность пробега частиц воды по испытываемому циркуляционному кольцу при средней плотности воды $\rho = 978$ кг/м^3, соответствующей ее средней температуре $\frac{t_{п.и}+t_{д.и}}{2} = \frac{79+59}{2} = 69^0$С, находится по формуле (28)

$$\tau_к = \frac{1258 \cdot 978 \cdot 10^{-3}}{3{,}6 \cdot 22{,}6} = 15 \text{ ч} \quad \text{или}$$

$$\tau_к = \frac{1258 \cdot 978 \cdot 10^{-3}}{81{,}5} = 15 \text{ ч}.$$

4. Обработка результатов испытаний

После проведения испытаний и усреднения полученных данных с учетом фактической продолжительности пробега частиц воды по участкам испытанного циркуляционного кольца были получены расходы сетевой и подпиточной воды G_c = 2I,8 кг/с (78,2 т/ч) и $G_п$ = I,45 кг/с (5,2 т/ч).

Измеренные температуры воды (^{0}С) приведены ниже:

Точка наблюдения	ТЭЦ	ТК-I	ТК-3	ТК-4
Подающая линия	74,8	72,3	68,I	66,0
Обратная линия	58,2	60,3	64,0	66,0

По данным метеослужбы, температура грунта на уровне оси трубопроводов за период испытаний составляла +6^{0}С, а средняя температура наружного воздуха за тот же период оказалась равной + 23^{0}С.

При испытаниях тепловые потери по подающей и обратной линиям испытанного участка I, определяемые по формулам (30) и (3I составляют:

$$Q_{п.и} = 4,I87 \cdot (2I,8 - \frac{I,75}{4}) \cdot (74,8-72,3) \cdot I0^3 = 223000 \text{ Вт или}$$

$$Q_{п.и} = I,0 \cdot (78,2 \frac{5,2}{4}) \cdot (74,8-72,3) \cdot I0^3 = I92000 \text{ ккал/ч;}$$

$$Q_{о.и.} = 4,I87 \cdot (2I,8 - \frac{3 \cdot I,75}{4}) \cdot (60,3 - 58,2) \cdot I0^3 = I8I000 \text{ Вт или}$$

$$Q_{о.и} = I,0 \cdot (78,2 - \frac{3 \cdot 5,2}{4}) \cdot (60,3-58,2) \cdot I0^3 = I56000 \text{ ккал/}$$

Результаты подсчета измеренных тепловых потерь по всем испытанным участкам сведены в табл. П.3.2.

5.Сопоставление измеренных тепловых потерь с нормативными

Необходимые для сопоставления значения измеренных тепловых потерь испытанных участков циркуляционного кольца, пересчитанные на среднегодовые условия работы сети, определяются по формулам (35) и (36). Эти значения составляют:

- для испытанного участка I надземной прокладки

$$Q_{н.п.и}^{ср.г} = \frac{223000\ (78-0)}{\frac{74,8+72,3}{2}-23} = 344000\ \text{Вт. или}$$

$$Q_{н.п.и}^{ср.г} \quad \frac{192000\ (78-0)}{\frac{74,8+72,3}{2}-23} = 296000\ \text{ккал/ч;}$$

$$Q_{н.о.и}^{ср.г} = \frac{181000\ (46-0)}{\frac{60,3+58,2}{2}-23} = 230000\ \text{Вт или}$$

$$Q_{н.о.и}^{ср.г} = \frac{156000\ (46-0)}{\frac{60,3+58,2}{2}-23} = 198000\ \text{ккал/ч;}$$

– для участка 2 подземной прокладки

$$Q_{н.и}^{ср.г} = \frac{374000\ (78-4)+318000\ (46-4)}{\frac{72,3+68,1+64,0+60,3}{4}-6} = 669000\ \text{Вт или}$$

$$Q_{н.и}^{ср.г} = \frac{323000\ (78-4)+275000\ (46-4)}{\frac{72,3+68,1+64,0+60,3}{4}-6} = 589000\ \text{ккал/ч.}$$

Результаты пересчета тепловых потерь испытанных участков циркуляционного кольца на среднегодовые условия работы сети приведены в табл. П.3.2. В этой же таблице приводятся значения нормативных удельных потерь испытанных участков при среднегодовых условиях работы сети, определенные при расчете параметров компенсаций – $q_н$, $q_{н.п}$ и $q_{н.о}$

Нормативные тепловые потери для испытанных участков, пересчитанные на среднегодовые условия работы сети, определяются согласно пп. 2.3-2.3.5 настоящих Методических указаний.

Они составляют для участка I подземной прокладки:

$$Q_{н.п}^{ср.г} = 1,25 \cdot 130 \cdot 2180 = 354000\ \text{Вт или}$$

$$Q_{н.п}^{ср.г} = 1,25 \cdot 112 \cdot 2180 = 305000\ \text{ккал/ч;}$$

$$Q_{н.о}^{ср.г} = 1,25 \cdot 96 \cdot 2180 = 262000\ \text{Вт или}$$

$$Q_{н.о}^{ср.г} = 1{,}25 \cdot 63 \cdot 2180 = 226000 \text{ ккал/ч.}$$

Аналогично для участка 2 подземной прокладки

$$Q_{н}^{ср.г} = 1{,}2 \cdot 182 \cdot 2500 + 1{,}2 \cdot 162 \cdot 1500 = 689000 \text{ Вт или}$$

$$Q_{н}^{ср.г} = 1{,}2 \cdot 157 \cdot 2500 + 1{,}2 \cdot 140 \cdot 1500 = 723000 \text{ ккал/ч.}$$

Результаты расчета нормативных абсолютных тепловых потерь испытанных участков приведены в табл. П.3.2.

Далее производится сопоставление измеренных и нормативных тепловых потерь по различным испытанным типам прокладки и конструкции изоляции путем определения коэффициента К по формулам (37)-(39).

Для участков надземной прокладки при изоляции из минеральной ваты получаем:

- по подающей линии:

$K_{п} = 344000 : 354000 = 0{,}97$ или $K_{п} = 296000:305000 = 0{,}97$;

- по обратной линии:

$K_{п} = 230000:262000 = 0{,}88$ или $K_{о} = 198000:226000 = 0{,}88$.

Соответственно для подземной прокладки при изоляции из минеральной ваты суммарно по обеим линиям:

К = 683000:839000 = 0,81 или К = 589000:723000 = 0,81.

То же для подземной прокладки при изоляции из диатомового кирпича суммарно по обеим линиям:

К = 352000:418000 = 0,84 или К = 303000:360000 = 0,84.

Как следует из сопоставления значений измеренных и нормативных тепловых потерь, измеренные тепловые потери подающей и обратной линий надземной прокладки, а также суммарные потери по обеим линиям для участков подземной прокладки с различными типами изоляции оказались ниже нормативных.

В связи с этим за основу при определении эксплуатационных тепловых потерь принимаются измеренные тепловые потери, полученные при испытаниях для различных типов прокладки и конструкций изоляции.

Таблица П.3.2

Результаты сопоставления измеренных и нормативных тепловых потерь для различных типов прокладки и конструкций изоляции

Подсчитываемые величины	Участок I (подземная прокладка, изоляция из минеральной ваты)	Участок 2 (подземная прокладка, изоляция из минеральной ваты)	Участок 3 (подземная прокладка, изоляция из диатомового кирпича)
$Q_{п.и}$ Вт (ккал/ч)	223000 (192000)	374000 (323000)	187000 (161000)
$Q_{д.и}$ Вт (ккал/ч)	181000 (156000)	318000 (275000)	173000 (149000)
$Q_{н.и}^{срг}$ Вт (ккал/ч)	-	683000 (589000)	352000 (303000)
$Q_{н.п.в}^{срг}$ Вт (ккал/ч)	344000 (296000)	-	-
$Q_{н.д.и}^{срг}$ Вт (ккал/ч)	230000 (198000)	-	-
$q_{н}$ Вт/м [ккал/(м·ч)]	-	182(157) (при $d_н$=325) 162(140) (при $d_н$=273)	139(120)
$q_{н.п}$ Вт/м [ккал/(м·ч)]	130(112)	-	-
$q_{н.д}$ Вт/м [ккал/(м·ч)]	96(83)	-	-
$Q_{н}^{срг}$ Вт (ккал/ч)	-	839000 (723000)	418000 (360000)
$Q_{н.п}^{срг}$ Вт (ккал/ч)	354000 (305000)	-	-
$Q_{н.д}^{срг}$ Вт (ккал/ч)	262000 (226000)	-	-
K	-	0,61	0,84
$K_п$	0,97	-	-
$K_д$	0,88	-	-

6. Нормирование эксплуатационных тепловых потерь через изоляцию трубопроводов

Для нормирования эксплуатационных тепловых потерь на участках сети, не подвергшихся испытаниям, должны быть определены, согласно пп.2.3.2 и 2.3.3. настоящих Методических указаний, нормативные удельные тепловые потери для этих участков, приведенные к среднегодовым условиям работы сети. Значения указанных нормативных удельных тепловых потерь, а также нормируемых эксплуатационных тепловых потерь для не подвергшихся испытаниям участков сети, определенные по формулам (4)-(6) с введением соответствующих поправочных коэффициентов К, приведены в табл. П.3.3, куда включены также значения нормируемых эксплуатационных потерь участков сети, прошедших испытания.

Как следует из табл.П.3.3, значение нормируемых среднегодовых тепловых потерь по тепловой сети в целом, определенная по формулам (7)-(9), составляет по участкам подземной прокладки $Q^{ср.г}_{подз}$ = 3,325 МВт (2,864 Гкал/ч), а по участкам надземной прокладки $Q^{ср.г}_{надз.п}$ = 0,501 МВт (0,431 Гкал/ч) и $Q^{ср.г}_{надз.о}$ = 0,324 МВт (0,279 Гкал/ч).

Для определения нормируемых тепловых потерь сети за один из месяцев их работы, характеризуемый приведенными выше данными, необходимо найти среднемесячные значения тепловых потерь по формулам (II)-(I3). Они составляют:

- для участков подземной прокладки:

$$Q^{ср.м}_{подз} = 3{,}325 \cdot \frac{92 + 50 - 2 \cdot 3}{78 + 45 - 2 \cdot 4} = 3{,}893 \text{ МВт или}$$

$$Q^{ср.м}_{подз} = 2{,}864 \cdot \frac{92 + 50 - 2 \cdot 3}{78 + 45 - 2 \cdot 4} = 3{,}358 \text{ Гкал/ч ;}$$

- для участков надземной прокладки:

$$Q^{ср.м}_{надз.п} = 0{,}501 \cdot \frac{92 + 6}{78 - 0} = 0{,}629 \text{ МВт или}$$

$$Q^{ср.м}_{надз.п} = 0{,}431 \cdot \frac{92 + 6}{78 - 0} = 0{,}542 \text{ Гкал/ч;}$$

$$Q^{ср.м}_{надз.о} = 0{,}324 \cdot \frac{50 + 6}{46 - 0} = 0{,}994 \text{ МВт}$$ или

$$Q^{ср.м}_{надз.о} = 0{,}279 \cdot \frac{50 + 6}{46 - 0} = 0{,}340 \text{ Гкал/ч.}$$

Отсюда нормируемое значение месячных потерь тепла через изоляцию трубопроводов для сети в целом, определяемое по формуле (10), равно:

$$Q^{мес}_{из} = 3{,}6(3{,}838+0{,}629+0{,}394) \cdot 720 = 12755 \text{ ГДж}$$

или

$$Q^{мес}_{из} = (3{,}358+0{,}542+0{,}340) \cdot 720 = 3053 \text{ Гкал.}$$

Таблица П.3.3

Нормируемые эксплуатационные тепловые потери участками сети

Тип прокладки и конструкция изоляции теплопроводов	Наружный диаметр подающего или обратного трубопровода $d_н$, м	Длина подающего или обратного трубопровода l, м	Нормативные удельные тепловые потери, Вт/м (ккал/(м·ч)), для линии		Нормируемые эксплуатационные среднегодовые тепловые потери, Вт (ккал/ч), для линии	
			подающей	обратной	подающей	обратной
Надземная прокладка, изоляция из минеральной ваты	0,426	2180	–	–	344000(296000)	230000(198000)
	0,108	2365	55(47)	36(31)	157000(135000)	94000(81000)
Итого по надземной прокладке ...	–	–	–	–	501000(431000)	324000(279000)
Подземная канальная прокладка, изоляция из минеральной ваты	0,325	2500	–	–	683000(589000)	
	0,273	1500	–			
	0,219	2160	139(120)		292000(251000)	
	0,159	5150	116(100)		580000(500000)	
	0,108	4325	94(81)		394000(340000)	
	0,076	1055	79(68)		81000(70000)	
	0,057	585	70(60)		39000(34000)	
Подземная канальная прокладка, изоляция из диатомового кирпича	0,219	2500	–		352000(303000)	
	0,159	2065	116(100)		242000(208000)	
	0,108	3085	94(81)		292000(252000)	
	0,076	2600	79(68)		208000(178000)	
	0,057	2310	70,60)		162000(139000)	
Итого по подземной прокладке ...	–	–	–		3325000(2864000)	
Всего по сети ...	–	–	–		4150000(3574000)	

НОРМЫ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ПАРОПРОВОДАМИ В НЕПРОХОДНЫХ КАНАЛАХ С РАСЧЕТНОЙ СРЕДНЕГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ГРУНТА +5°С НА ГЛУБИНЕ ЗАЛОЖЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Подающая магистраль		Обратная магистраль		Суммарные потери тепла при двухтрубной прокладке					Подающая магистраль		Обратная магистраль		
Пар τ =150°С		Конденсат, τ =70°С		Пар τ=200°С		Пар τ=250°С			Пар τ=300°С		Конденсат τ=120°С		
Наружный диаметр d, мм	q_n Дж/(м·с) (ккал/(м·ч))	d мм	q_o Дж/(м·с) (ккал/(м·ч))	q_n+q_o Дж/(м·с) (ккал/(м·ч))	q_n+q_o Дж/(м·с) (ккал/(м·ч))	q_n+q_o Дж/(м·с) (ккал/(м·ч))			Наружный диаметр, d, мм	q_n Дж/(м·с) (ккал/(м·ч))	d мм	q_o Дж/(м·с) (ккал/(м·ч))	q_n+q_o Дж/(м·с) (ккал/(м·ч))
32	56,8 (49)	25	24,3 (21)	81,2 (70)	70,7 (61)	95,1 (82)	84,7 (73)	113,7 (98)	108	150,8 (130)	57	59,1 (51)	209,9 (181)
57	70,8 (61)	32	31,3 (27)	102,1 (88)	87,0 (75)	118,3 (102)	103,2 (89)	134,5 (116)	159	178,6 (154)	76	67,3 (58)	245,9 (212)
76	78,9 (68)	57	38,3 (33)	117,1 (101)	97,4 (84)	135,7 (117)	114,8 (99)	153,1 (132)	219	212,3 (183)	108	77,7 (67)	290,0 (256)
89	84,7 (73)	57	38,3 (33)	122,9 (106)	104,4 (90)	142,7 (123)	121,8 (105)	160,1 (138)	273	238,9 (206)	108	77,7 (67)	316,7 (273)
108	92,8 (80)	57	38,3 (33)	131,1 (113)	113,7 (98)	151,9 (131)	133,4 (115)	171,7 (148)	325	263,3 (227)	159	93,9 (81)	357,3 (308)
159	111,4 (96)	89	47,5 (41)	158,9 (137)	134,5 (116)	182,1 (157)	157,7 (136)	205,3 (177)	377	283 (244)	159	93,9 (81)	377,0 (325)

219	133,4 (115)	108	52,2 (45)	153,6 (160)	161,2 (139)	213,4 (184)	197,2 (170)	249,4 (215)	426	301,2 (260)	219	113,7 (98)	415,9 (358)
273	151,9 (131)	108	52,2 (45)	204,1 (176)	183,3 (158)	235,4 (203)	211,1 (182)	263,3 (227)	478	321,3 (277)	219	113,7 (98)	435 (376)
325	169,8 (146)	108	52,2 (45)	221,5 (191)	203,0 (175)	255,2 (220)	234,8 (202)	286,5 (247)	529	362,2 (295)	273	127,6 (110)	469,8 (405)
377	183,3 (158)	159	63,8 (55)	247,1 (213)	218,1 (188)	281,9 (243)	251,7 (217)	315,5 (272)	630	385,1 (332)	273	127,6 (110)	512,3 (442)
426	211,1 (182)	159	63,8 (55)	274,9 (237)	234,3 (202)	321,3 (277)	270,3 (233)	334,1 (288)	720	417,6 (360)	325	143,8 (124)	561,2 (484)
478	213,4 (184)	219	77,7 (67)	291,1 (251)	251,7 (217)	329,4 (284)	291,1 (251)	368,9 (318)					
529	230,8 (199)	219	77,7 (67)	308,5 (266)	262,1 (226)	339,9 (293)	313,2 (270)	390,9 (337)					
630	258,7 (223)	273	89,3 (77)	348 (300)	303,9 (262)	393,2 (339)	350,3 (302)	439,6 (379)					
720	277,2 (239)	325	96,3 (83)	373,5 (322)	332,9 (287)	429,2 (370)	378,1 (326)	474,4 (409)					

Приложение 5

НОРМЫ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ОДНИМ ИЗОЛИРОВАННЫМ ПАРОПРОВОДОМ ПРИ НАЗЕМНОЙ ПРОКЛАДКЕ С РАСЧЕТНОЙ СРЕДНЕГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА +5°С

Наружный диаметр труб, мм	Температура теплоносителя °С					
	150	200	250	300	350	400
	Потери тепла, Дж/(м·с) (ккал/(м·ч))					
32	53,3	71,9	89,3	107,9	125,3	143,8
	(46)	(62)	(77)	(93)	(108)	(124)
57	67,3	90,5	111,3	113,4	155,4	177,5
	(58)	(78)	(96)	(115)	(134)	(153)
76	76,5	99,7	125,3	48,5	171,7	197,2
	(66)	(86)	(108)	(128)	(148)	(170)
89	82,3	107,9	132,2	157,7	183,3	208,8
	(71)	(93)	(114)	(136)	(158)	(180)
108	89,3	117,1	145,0	171,7	199,5	226,2
	(77)	(101)	(125)	(148)	(172)	(195)
159	109,0	139,2	171,7	203,0	237,8	266,8
	(94)	(120)	(148)	(175)	(205)	(230)
194	119,5	150,8	187,9	222,7	258,7	290,0
	(103)	(130)	(162)	(192)	(223)	(250)
219	127,6	162,4	203,0	241,3	278,4	313,2
	(110)	(140)	(175)	(208)	(240)	(270)
273	145,0	185,6	229	270,8	310,9	353,8
	(125)	(160)	(197)	(233)	(268)	(305)
325	162,4	208,8	255,2	301,6	348,0	394,4
	(140)	(180)	(220)	(260)	(300)	(340)
377	180,9	230,8	278,	328,3	378,1	429,2
	(156)	(199)	(240)	(283)	(326)	(370)
426	200,7	252,9	304,6	354,9	408,3	461,7
	(173)	(218)	(260)	(306)	(352)	(398)
478	214,6	272,6	324,8	382,8	435,0	487,2
	(185)	(235)	(280)	(330)	(375)	(420)
529	227,3	284,2	348,	406,0	464,0	522,0
	(196)	(245)	(300	(350)	(400)	(450)

Окончание приложения 5

Наружный диаметр труб, мм	Температура теплоносителя, °С					
	150	200	250	300	350	400
	Потери тепла, Дж/(м·с) (ккал/(м·ч))					
630	252,9 (218)	319,0 (275)	382,8 (330)	446,6 (385)	510,4 (440)	580,0 (500)
720	276,1 (238)	344,5 (297)	415,3 (358)	487,2 (420)	556,8 (480)	628,7 (542)
820	308,5 (266)	382,8 (330)	461,7 (398)	538,2 (464)	620,6 (535)	696,0 (600)
920	343,3 (296)	510,4 (370)	510,4 (440)	697,4 (515)	678,6 (585)	759,8 (655)
1020	382,2 (330)	562,6 (407)	562,6 (485)	655,4 (565)	742,4 (640)	835,2 (720)
1420	498,8 (430)	730,8 (532)	730,8 (630)	858,4 (740)	974,4 (840)	1090,4 (940)

Приложение 6

ПРИМЕР РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ИЗОЛЯЦИЮ ТРУБОПРОВОДОВ ПАРОВОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

1. Исходные данные.

Тепловые потери определяются для паропроводов, характеризующихся данными, приведенными в табл. П.6.1 и на схеме (см.рис.3).

Таблица П.6.I

Характеристика паропровода

Номер участка	Тип прокладки	Толщина теплоизоляции из минеральной ваты, мм	Условный диаметр, мм	Длина участка, м	Материальная характеристика, м²
I-2	Надземная	II0	350	I550	543
2-3	Подземная	90	350	765	268
3-4	Надземная	II0	350	450	I57
4-5	Подземная	I00	350	250	87
5-6	Надземная	90	200	200	40
5-7	Подземная	90	350	225	79
7-II	Подземная	90	350	650	228
7-8	Подземная	90	350	75	26
8-9	Надземная	II0	300	I75	525
8-I0	Надземная	90	300	445	I33
I-I2	Подземная	I20	500	600	300
			Итого ...	5385	2386

Температура грунта на уровне оси подземного паропровода, проложенного в непроходном канале ..... +I0°С

Температура воздуха ..... +I5°С

Барометрическое давление ..... 0,I03 МПа

Эксплуатационные среднегодовые параметры пара на ТЭЦ:

расход ..... 6,9 кг/с

температура .....263°С

абсолютное давление ..... I,I2 МПа

Среднегодовая температура грунта ..... +5°С

Среднегодовая температура воздуха ..... 0°С

2. Выбор участков паропровода, подлежащих испытаниям:

- участок I-II: $\frac{M_{1-11}}{M} = 0,87 > 0,I5$;

- участок I-I2: $\frac{M_{1-12}}{M} = 0,I2 < 0,I5$.

Для испытаний выбирается участок I-II.

3. Начальные параметры пара при испытаниях (расчет не приводится);

$$P_{и} = 1{,}12 \text{ МПа}; \quad \tau_{1и} = 263^{\circ}\text{C}; \quad G_{и} = 11{,}99 \text{ кг/с}.$$

4. Параметры пара, полученные при испытаниях, а также результаты расчета по приведенной выше методике сведены в табл.П.6.2, данные которой позволяют проводить анализ работы всех участков паропровода.

5. Сопоставление фактических тепловых потерь с нормативными на участке I-2 с перегретым паром:

- температура пара в точке 2 при эксплуатационном режиме определяется по формуле (41) :

$$\tau_2 = 0^{\circ} + \frac{263 - 0}{e^{(1550\ 1{,}25/891\ 6{,}9\cdot 2{,}22)}} = 229^{\circ}\text{C},$$

- средняя температура на участке I-2

$$\tau_{1-2}^{ср} = \frac{(263{,}2 + 229)}{2} = 246{,}1^{\circ}\text{C};$$

- давление пара в точке 2 при эксплуатационном режиме определяется по формуле (43):

$$h_1 = 10{,}6\cdot 10^{-3}\frac{6{,}9^2}{4{,}6\cdot 0{,}35^{5{,}25}}\cdot 10^{-6} = 0{,}03\cdot 10^{-3}\ \frac{\text{МПа}}{\text{м}};$$

$$P_2 = 1{,}1\sqrt{1 - \frac{2\cdot 0{,}03\cdot 10^{-3}\cdot 1{,}25\ (273+246{,}1)}{1{,}1\cdot(273+263{,}2)}\cdot 1650} = 1{,}04 \text{ МПа};$$

- падением температуры за счет дроссель-эффекта можно пренебречь из-за его малости в данном случае. Значение перегрева 89°C;

- фактические удельные среднегодовые потери теплоты определяются по формуле (51):

$$q_{1-2} = \frac{246{,}1 - 0}{891} = 0{,}276 \text{ кДж/(м·с)}.$$

Таблица П.6.2

Значения измеренных и расчетных величин при тепловых испытаниях паропроводов

Параметр	Единица измерения	Номера точек измерений													
		1	2	3	4	5		7		8		от т.7	6	9	11	10
						к т.7	к т.6	к т.11	к т.6	к т.9	к т.10					
Измеренные величины																
1. Давление пара	МПа	1,1	0,96	0,86	0,81	0,79	0,79	0,77	0,77	0,76	0,76	0,76	0,69	0,75	0,74	0,63
2. Температура пара	°С	263,2	240,7	229,8	223,5	218,6	217,2	214,0	214,9	213,0	212,0	214,0	200,8	202,5	193,5	191,6
3. Перепад давления по дифференциальному манометру	МПа (кг/см²)	0,06 (463)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,047 (351)	0,054 (405)	0,036 (267)	0,053 (400)
Расчетные величины																
4. Энтальпия пара	кДж/кг	2967	2924	2904	2891	2882	2878	2874	2874	2870	2870	2874	2849	2849	2832	2832
5. Плотность пара	кг/м³	4,52	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,24	3,46	3,49	2,99
6. Расход пара	кг/с	11,99	11,91	11,89	11,89	11,85	1,27	4,46	10,56	3,12	2,96	6,08	1,27	3,12	4,24	2,94
7. Температура насыщения	°С	184,1	177,5	172,7	170,6	169,2	169,0	167,9	168,1	167,5	167,7	167,7	163,7	167,3	166,1	159,8
8. Перегрев пара	°С	79,1	63,2	57,1	52,9	49,4	48,2	46,1	46,8	45,5	44,3	46,3	36,1	35,2	33,4	30,7

Таблица II.6.3

Значения измеренных и расчетных параметров по участкам паропровода

Параметр	Единица измерения	Номера участков									
		I-2	2-3	3-4	4-5	5-6	5-7	7-II	7-8	8-9	8-I0
Измеренные величины											
I. Длина участка	м	I550	765	450	250	200	225	650	75	I75	445
2. Условный диаметр	мм	350	350	350	350	200	350	300	350	300	300
3. Температура окружающей среды	°С	I5	I0	I5	I0	I5	I0	I0	I0	I5	15
4. Тепловые потери	кДж/с	5I3,9	238	I54,7	I05,8	36,8	84,8	I89	24,4	65,I	II4
5. Удельные тепловые потери	кДж/(м·с)	0,266	0,249	0,275	0,342	0,I47	0,302	0,233	0,260	0,298	0,205
6. Термическое сопротивление	$\frac{м \cdot с \cdot °С}{кДж}$	89I	904	769	6I7	I320	686	832	786	647	9II
7. Скорость пара	м/с	27,2	29,8	3I,9	3I,4	II,9	29,8	I6,9	I7,45	II,9	I2,5
Расчетные величины											
8. Средний расход пара на участке	кг/с	II,95	II,9	II,9	II,87	I,27	I0,6	4,5	6,I	3,I	3,0
9. Средняя температура на участке	°С	25I,9	235,2	226,6	22I,0	203,0	2I6,8	203,8	2I4,4	207,8	20I,8
I0. Среднее давление пара на участке	МПа	I,04	0,9I	0,84	0,8	0,74	0,78	0,75	0,77	0,76	0,69
II. Средняя плотность пара на участке	кг/м³	4,37	3,97	3,69	3,75	3,52	3,52	3,49	3,48	3,49	3,18

Фактические среднегодовые тепловые потери участка паропровода при среднегодовых температурах пара и окружающей среды определяются по формуле (62):

$$Q_{1-2}^{ср.г} = 0{,}276 \cdot 1550 \cdot 1{,}25 = 531{,}8 \text{ кДж/с.}$$

Нормативные тепловые потери участка паропровода при среднегодовых температурах пара и окружающей среды вычисляются по формуле (64):

$$\left[q_н = 240 \frac{\text{ккал}}{(\text{м}\cdot\text{ч})} = 278{,}4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кДж}}{(\text{м}\cdot\text{с})} \text{ при } t_в^{ср.г} = +5^{\circ}\text{С} \right.$$
$$\left. \text{и температуре пара } 250^{\circ}\text{С}\right] .$$

$$Q_н^{ср.г} = \frac{278{,}4 \cdot 10^{-3} \cdot 1550 \cdot 1{,}25\,(246{,}1-0)}{250-5} = 542 \text{ кДж/с.}$$

В ы в о д . Фактические тепловые потери участка I-2 ($Q_{1-2}^{ср.г}$) не превышают нормативных ($Q_н^{ср.г}$). Нормируемые среднегодовые тепловые потери участка I–2 принимаем равными фактическим $Q_{норм ир}^{ср.г} = 534{,}8$ кДж/с. Коэффициент К для определения нормированных тепловых потерь для теплопроводов группы Б (см. п.7.I) равен $К = \frac{534{,}8}{542} = 0{,}987$.

6. Сопоставление фактических тепловых потерь с нормативными на участке с влажным паром. Исходные данные, кроме расхода пара, см. разд. I; расход пара 5,70 кг/с. Среднее термическое сопротивление паропровода на участке I–7

$$R = \frac{891 \cdot 1550 + 904 \cdot 765 + 769 \cdot 450 + 617 \cdot 250 + 685 \cdot 225}{1550 + 765 + 450 + 250 + 225} = 842 \frac{\text{м}\cdot{}^{\circ}\text{С}}{\text{кДж}}$$

Средняя температура окружающей среды на участке I–7

$$t_0 = \frac{5 \cdot 1550 + 0 \cdot 765 + 5 \cdot 450 + 0 \cdot 250 + 0 \cdot 225}{3240} = 3{,}5^{\circ}\text{С.}$$

Температура пара в точке 7 при средней удельной теплоемкости пара на участке, равной 2,22 кДж/(кг $\cdot{}^{\circ}$С), составит:

$$\tau_{2(7-7)} = 3{,}5 + \frac{268 - 3{,}5}{e^{(3240 \cdot 1{,}25/842 \cdot 2{,}22)}} = 181^{\circ}\text{С}$$

(при практических расчетах необходимо просчитывать каждый участок до точки 7, принимая среднюю удельную теплоемкость рассматриваемого участка, как в п. 6.4.4 настоящих Методических указаний.

Давление пара в точке 7

$$h_1 = 10{,}6 \cdot 10^{-3} \frac{5{,}7^2}{4{,}62 \cdot 0{,}35^{5{,}25}} 10^{-6} = 0{,}019 \cdot 10^{-3} \text{ МПа/м};$$

$$\tau_{ср} = \frac{263 + 181}{2} = 222^{\circ}\text{C};$$

$$p_{2\,(т.7)} = 1{,}1\sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0{,}019 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}25\,(273+222)}{273 + 263}\,3240} =$$

$$= 1{,}1\sqrt{1 - 0{,}142} = 1{,}02 \text{ МПа}.$$

При таком давлении температура насыщения равна примерно 181°С, таким образом в точке происходит переход пара из перегретого состояния во влажное. Удельные тепловые потери на участке 7-11 (на котором давление и температура пара принимаются практически постоянными):

$$q = \frac{181 - 5}{832} = 0{,}212 \text{ кДж/(м} \cdot \text{с)}.$$

Тепловые потери на участке 7-11

$$Q_з^{ср\,г} = 0{,}212 \cdot 650 \cdot 1{,}25 = 172 \text{ кДж/с}.$$

Энтальпия пара в точке 11 при энтальпии пара в точке 7, равной 2779 кДж/кг,

$$i_{2(т11)} = 2779 - \frac{172}{5{,}7} = 2749 \text{ кДж/кг}.$$

Степень влажности пара в точке 11 при значении теплоты парообразования 2015 кДж/кг

$$y = \frac{2779 - 2749}{2015} = 0{,}015.$$

Количество выпавшего конденсата

$$G_{конд} = 0{,}015 \cdot 5{,}7 = 0{,}086 \text{ кг/с}.$$

Проверка по тепловому балансу:

- количество теплоты в точке 7

$$2779 \cdot 5{,}7 = 15840 \text{ кДж/с};$$

- количество теплоты в точке II

$$2779\ (5{,}7-0{,}086) + 767{,}5 \cdot 0{,}086 + 172 = 15839 \text{ кДж/с}$$

или

$$2779 \cdot 5{,}7 + 172 = 15841 \text{ кДж/с}.$$

Как показывают результаты проверки, расчет сделан правильно.

Нормативные тепловые потери участка 7-II при ежегодных среднегодовых температурах пара и окружающей среды [$q_н = 0{,}203$ кДж/(м·с) при $\tau_{ср} = 200^{0}$C и $t_{0н}^{ср.г} = +6^{0}$C] составят:

$$Q_н^{ср.г} = \frac{0{,}203 \cdot 650 \cdot 1{,}25\ (181-5)}{200-5} = 149 \text{ кДж/с}.$$

Сравнение среднегодовых эксплуатационных (172 кДж/с) и нормативных (149 кДж/с) потерь показывает, что фактические тепловые потери на участке 7-II выше нормативных. Требуется проведение мероприятий по сокращению тепловых потерь до уровня нормативных на этом участке паропровода.

О Г Л А В Л Е Н И Е

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО НОРМИРОВАНИЮ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ 3
2. НОРМИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ИЗОЛЯЦИЮ ТРУБОПРОВОДОВ В ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ 4
3. НОРМИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ С УТЕЧКОЙ ВОДЫ ИЗ ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ 10
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ 11
5. ТЕПЛОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ 13
   - 5.1. Задачи испытаний и последовательность работ.. 13
   - 5.2. Анализ материалов по тепловой сети 13
   - 5.3. Выбор участков сети, подлежащих испытаниям... 14
   - 5.4. Определение параметров испытаний 17
   - 5.5. Подготовка сети и оборудования к испытаниям.. 21
   - 5.6. Подготовка измерительной аппаратуры 22
   - 5.7. Проведение тепловых испытаний 23
   - 5.8. Обработка результатов испытаний 25
   - 5.9. Сопоставление измеренных тепловых потерь с нормативными 28
6. ТЕПЛОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПАРОВЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ (паропроводов)..... 31
   - 6.1. Задачи испытаний и последовательность работ.. 31
   - 6.2. Анализ материалов по испытуемому паропроводу 31
   - 6.3. Выбор участков паропроводов, подлежащих испытаниям 33
   - 6.4. Определение параметров испытаний 33
   - 6.5. Подготовка паропровода и оборудования к испытаниям 35
   - 6.6. Подготовка измерительной аппаратуры 35
   - 6.7. Проведение тепловых испытаний паропровода ... 36
   - 6.8. Обработка результатов испытаний 36

6.9. Сопоставление измеренных тепловых потерь с нормативными 37
7. Нормирование тепловых потерь паропроводами .....40.
Приложение 1. Нормы тепловых потерь изолированными водяными теплопроводами при подземной бесканальной прокладке и прокладке в непроходных каналах с расчетной среднегодовой температурой грунта +5°С на глубине заложения теплопроводов 43
Приложение 2. Нормы тепловых потерь одним изолированным водяным теплопроводом при надземной прокладке с расчетной среднегодовой температурой наружного воздуха +5 С 44
Приложение 3. Пример расчета тепловых потерь через изоляцию трубопроводов водяной тепловой сети 45
Приложение 4. Нормы тепловых потерь паропроводами в непроходных каналах с расчетной среднегодовой температурой грунта +5°С на глубине заложения трубопроводов 60
Приложение 5. Нормы тепловых потерь одним изолированным паропроводом при надземной прокладке с расчетной среднегодовой температурой наружного воздуха +5°С 62
Приложение 6. Пример расчета тепловых потерь через изоляцию трубопроводов паровой тепловой сети. 63

Ответственный редактор Т.П.Леонова
Литературный редактор З.Н.Игнаткова
Технический редактор Б.М.Пожакова
Корректор Л.Ф.Петрухина

Подписано к печати 18.02.85 Формат 60х84 1/16
Печать офсетная. Усл.печ.л.4,18 Уч.-изд.л.4,3 Тираж 1200 экз.
Заказ № 68/15 Издат.№ 113/84 Цена 64 коп.

Производственная служба передового опыта и информации Союзтехэнерго
105023, Москва, Семеновский пер., д.15

Участок оперативной полиграфии СПО Союзтехэнерго
109432, Москва, 2-й Кожуховский проезд, д.29, строение 6

-gost.e-ecolog.ru