РАО "ЕЭС России"



ОАО "ВНИПИЭНЕРГОПРОМ"

РД-7-ВЭП

РАСЧЕТ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ НАДЕЖНОСТИ

Москва
1972-2004 г.г.

gost.e-ecolog.ru

РАО "ЕЭС России"

ОАО "ВНИПИЭНЕРГОПРОМ"

РД-7-ВЭП
(руководящий документ)

РАСЧЕТ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ НАДЕЖНОСТИ

Генеральный директор
ОАО «Объединение ВНИПИэнергогпром» В.Г.Семенов

Зам. Генерального директора
по научной работе Я.А. Ковылянский

Москва
1972-2004 г.г.

Руководящий Документ
РД-7-ВЭП

РАСЧЕТ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ НАДЕЖНОСТИ

разработан
кандидатом техн.наук Я.А.Ковылянским

ПРОГРАММА РАСЧЕТОВ УРОВНЕЙ НАДЕЖНОСТИ

разработана совместно:
Пермским Государственным Техническим Университетом и ОАО «Объединение ВНИПИэнергопром»
кандидатом техн.наук Б.М.Красовским
кандидатом техн.наук А.В.Гришковой
кандидатом техн.наук Т.Н.Романовой
кандидатом техн.наук Я.А.Ковылянским
инженером Ю.А.Сухановым

ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНЖЕНЕРНОЙ ДИАГНОСТИКИ

разработана
инженером Ю.А.Сухановым

360-22-17, факс: 366-36-25

Настоящий РД не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен без разрешения организации-разработчика

1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

При работе с настоящим Руководящим Документом следует пользоваться нижеследующими общими положениями:

1.1. КАТЕГОРИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ТЕПЛА

Потребителей тепла по надежности теплоснабжения следует делить на три категории:

Первая категория – потребители, не допускающие перерывов в подаче расчетного количества тепла и снижения температуры воздуха в помещениях ниже предусмотренных ГОСТ 30494-96 или договором между поставщиком и потребителем тепла.

Например, больницы, родильные дома, детские дошкольные учреждения с круглосуточным пребыванием детей, картинные галереи, химические и специальные производства, шахты, операционные, реанимационные помещения и т.п.,

Вторая категория – потребители допускающие временное снижение температуры в отапливаемых помещениях;

а) жилых и общественных зданий – до +12°С;

б) промышленных зданий – до +8°С;

Третья категория – остальные потребители. Например, временные здания и сооружения, вспомогательные здания промышленных предприятий, бытовые помещения и т.п.

1.2. ТЕПЛОВЫЕ НАГРУЗКИ ПРИ ОТКАЗАХ

При авариях (отказах) на источнике тепла на его выходных коллекторах в течение всего ремонтно-восстановительного периода должна обеспечиваться:

подача 100% тепла потребителям первой категории (если иные режимы не предусмотрены договором);

заданный потребителем аварийный режим расхода пара и технологической горячей воды;

заданные потребителем, аварийный тепловой режим работы не отключаемых вентиляционных систем;

среднечасовой расход тепла за отопительный период на горячее водоснабжение (при невозможности его отключения);

подача тепла на отопление и вентиляцию жилищно-коммунальным и промышленным потребителям второй и третьей категории в размерах, указанные в таблице **1.**

Таблица 1

Наименование показателя	**Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления t_0°С**				
	-10	-20	-30	-40	-50
Допустимое снижение подачи тепла в % до	78	84	87	89	91

Примечание: Таблица составлена при температурах наружного воздуха наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью **0,92.**

1.3. РЕЗЕРВИРОВАНИЕ

Следует рассматривать следующие способы резервирования:

- применение на источниках тепла рациональных тепловых схем с дублированными связями, обеспечивающих заданный уровень готовности энергетического оборудования;
- установку резервного оборудования;
- организацию совместной работы нескольких источников тепла на единую систему транспорта тепла;
- внедрение взаимного резервирования источников тепла и тепловых сетей смежных СЦТ,
- устройство резервных насосных и трубопроводных связей,
- установку баков-аккумуляторов и т.п.

При подземной прокладке тепловых сетей в непроходных каналах и бесканальной .прокладке величина резервной подачи тепла для обеспечения внутренней температуры воздуха в отапливаемых помещениях жилищно-коммунальных и промышленных потребителей второй и третьей категорий в размерах, указанных в таблице 2.

Таблица 2

Диаметр труб тепловых сетей. мм	Время восста–новлен. тепло–снабж. часов	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления to,°С				
		минус 10	минус 20	минус 30	Минус 40	минус 50
		Допускаемое снижение подачи тепла. в %. до:				
300	15	32	50	60	59	64
400	18	41	56	65	63	68
500	22	49	63	70	69	73
600	26	52	68	75	73	77
700	29	59	70	76	75	78
800-1000	40	66	75	80	79	82
До 1400	До 54	71	79	83	82	85

Примечания:

1. Температура внутреннего воздуха в помещениях принята:
   $+18^0$С — для районов с расчетной температурой наружного воздуха для отопления выше -30^0С
   $+20^0$С —для районов с расчетной температурой наружного воздуха для отопления ниже-30°С.
2. Коэффициент аккумуляции зданий принят β =40

Участки надземной прокладки протяженностью до 5 км допускается не резервировать. Исключение составляют трубопроводы диаметром 1200 – 1400 мм в районах с расчетными температурами воздуха для проектирования отопления ниже минус 40°С.

Резервирование подачи тепла по тепловым сетям, прокладываемым в тоннелях и проходных каналах, допускается не предусматривать.

Для потребителей 1 категории следует предусматривать установку местных резервных источников тепла (стационарных или передвижных). Допускается при

соответствующем обосновании предусматривать схему резервирования, обеспечивающую при отказах подачу тепла от смежных СЦТ.

Для резервирования теплоснабжение промышленных предприятий допускается предусматривать местные источники тепла.

1.4. ДЕЙСТВУЮЩИЕ УКАЗАНИЯ. ПО РАСЧЕТУ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОТОВНОСТИ.

В эксплуатационной практике в соответствии с методическими указаниями Госэнергонадзора: МУ 34-70-171-87 «Методические указания по определению готовности систем теплоснабжения к прохождению отопительного сезона», расчетная подготовленность теплофикационной системы к функционированию определяется:

- сбалансированностью тепловой мощности источника тепла и тепловых нагрузок;
- соответствием мощности подпиточных устройств величине потерь сетевой воды теплофикационной системой;
- качеством подпиточной и сетевой воды, определенным «Нормами качества подпиточной и сетевой воды…»;
- обеспеченностью источника тепла топливом;
- выполнением к установленному сроку (за 20 дней до начала отопительного сезона) в полном объеме текущих и плановых ремонтно-восстановительных и профилактических работ по подготовке всех звеньев теплофикационной системы к отопительному сезону: источников тепла, тепловых сетей, систем регулирования и теплоиспользования потребителей.

Методические указания Госэнергонадзора, разработанные 15 лет назад, устарели и отражают лишь расчетное (желаемое) состояние теплофикационной системы.

Баланс мощности источников тепла и теплопотребитлей.

Баланс рассматривается при расчетной температуре наружного воздуха:

$$Q^{б}_{ит} - Q^{б}_{пот} \geq 0$$

где: $Q^{б}_{ит}$ – балансовая мощность источника тепла, МВт (Гкал/ч);

$Q^{б}_{пот}$ – балансовая нагрузка потребителей, МВт (Гкал/ч).

Балансовая мощность источника тепла:

$$Q^{б}_{ит} = Q_{уст} - Q_{пл.рем} - Q_{вын.рем} - Q_{сн} - Q_{пар.пот} - Q_{огр}$$

где: $Q_{уст}$ – установленная мощность источника тепла (по форме 6-тп), МВт (Гкал/ч);

$Q_{пл.рем}$ – размер снижения тепловой мощности источника тепла из-за вывода оборудования в плановые ремонты (по графику), МВт (Гкал/ч);

$Q_{вын.рем}$ – размер снижения тепловой мощности источника тепла из-за вынужденных ремонтов в течение отопительного сезона (2% от $Q_{уст} - Q_{пл.рем}$), МВт (Гкал/ч);

$Q_{сн}$ – расход тепла на собственные нужды, МВт (Гкал/ч).

$Q_{пар.пот}$ – присоединенная паровая нагрузка, МВт (Гкал/ч);

$Q_{огр}$ – размер ограничений тепловой мощности по техническим причинам (непроектное топливо, необеспеченность топливом, водой и др.).

Балансовая нагрузка потребителей:

$$Q_{п}^{б} = Q_{п}^{буд} \frac{Q_{п}^{ф.прш} - Q_{гв}^{прш}}{Q_{п}^{прш}} \cdot \frac{t_{вн} - t_{н}}{t_{вн} - t_{нф}} + Q_{гв}$$

где: $Q_{п}^{буд}$ – заявленная нагрузка отопления и вентиляции, МВт (Гкал/ч);

$Q_{п}^{прш}$ – прошлогодняя заявленная нагрузка отопления и вентиляции, МВт (Гкал/ч);

$Q_{п}^{ф.прш}$ – прошлогодняя фактическая нагрузка отопления и вентиляции, МВт (Гкал/ч);

$t_{вн}$ – расчетная внутренняя температура, °С;

$t_{н} t_{нф}$ – температура наружного воздуха: расчетная и фактическая °С;

$Q_{гв}$ $Q_{гв}^{прш}$ – среднечасовая нагрузка горячего водоснабжения: заявленная и прошлогодняя, МВт (Гкал/ч).

Баланс мощности подпиточных устройств:

$$G_{пу}^{б} - G_{п}^{б} \geq 0;$$

где: $G_{пу}^{б}$ – балансовая мощность подпиточного устройства источника тепла, т/ч;

$$G_{пу}^{б} = G_{у}^{б} - G_{огр};$$

$G_{у}$ – установленная производительность подпиточного устройства, т/ч;

$G_{огр}$ – эксплуатационные ограничения, т/ч;

$G_{п}^{б}$ – балансовая подпитка тепловой сети, т/ч.

$$G_{п}^{б} = G_{и}^{пр} \frac{G_{п}^{фпрш}}{G_{п}^{прпрш}} \cdot 10^{-3}$$

$G_{п}^{пр}$ **и** $G_{п}^{прпрш}$ – проектная среднечасовая подпитка кг/ч;

$G_{п}^{фпрш}$ – фактическая среднечасовая подпитка в прошедшем сезоне, кг/ч.

Перечисленные выше показатели не полностью характеризуют реальную степень готовности системы и ее элементов к надежной работе в течение заданного временного периода, прежде всего, в части количественных оценок зависимостей надежного и качественного теплоснабжения от:

- технического, технологического, структурного и схемного совершенства теплофикационной системы,
- физического состояния, старения и утраты рабочего ресурса ее элементами, узлами и звеньями,
- оптимальной степени резервирования,
- характера и интенсивности потока отказов: аварий, нарушений, повреждений, отключений.

Настоящий РД не подменяет МУ 34-70-171-87, но дополняет ее введением в эксплуатационную практику новых показателей, определяющих способность системы к исправному функционированию при заданных (фактических, нормативных) показателях надежности:

- вероятности безотказного состояния системы,
- готовности к исправной работе системы,

– живучести системы в экстремальных условиях, в том числе при нерасчетном похолодании и длительных остановах (более 54 часов).

Информационной основой эксплуатационных показателей надежности является статистика числа **часов неготовности** к исправной работе:

а) на источнике тепла - отдельных узлов и установок теплофикационной части:

$$Z_Э = z_{об} + z_{впу} + z_{тсв} + z_{пар} + z_{топ} + z_{хво} + z_{эло},$$

где фактическое число часов неготовности:

$z_{об}$ — основного энергооборудования;

$z_{впу}$ — водоподогревательной установки;

$z_{тсв}$ — тракта трубопроводов сетевой воды;

$z_{пар}$ — тракта паропроводов;

$z_{топ}$ — топливообеспечения:

$z_{хво}$ — водоприготовительной установки и группы подпитки;

$z_{эло}$ — электрообеспечения установок теплофикационной части;

б) для абонентов — ≤ 10 часов;

в) тепловых сетей и системы в целом — по настоящему РД.

Примечание: Наличие резервных элементов: оборудования, насосов. паровых и водяных резервных трубопроводных связей исключает зарезервированный узел из учета в показателях неготовности.

1.5. НАДЕЖНОСТЬ

Способность проектируемых и действующих источников тепла, тепловых сетей и в целом СЦТ обеспечивать в течение заданного времени требуемые режимы, параметры и качество теплоснабжения (отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, а также технологических нужд предприятий в паре и горячей воде), следует определять по трем показателям (критериям):

безотказности [**р**], *т.е. вероятности безотказной работы системы,* ее способности не допускать отказов, приводящих к падению температуры в не угловых отапливаемых помещениях ниже +12°С, более установленного нормативом числа раз за 100 лет;

готовности [**Е**], *т.е. вероятности исправного состояия системы,* ее готовности не допускать отказов, приводящих к падению температуры в не угловых отапливаемых помещениях ниже расчетной внутренней температуры, более установленного нормативом числа часов в год;

живучести [**Ж**], *т.е. способности системы сохранять свою работоспособность* в экстремальных условиях, а также после длительных остановов (более 54 часов).

1.5.1. БЕЗОТКАЗНОСТЬ

При проектировании — это основной показатель соответствия предлагаемых в проекте технических решений нормативному требованию к безотказности.

В эксплуатации — это показатель способности СЦТ к безотказной работе при **текущем** техническом состоянии СЦТ.

Вероятность безотказной работы [**p**] определяется по формуле:

$$P = e^{-\omega},$$

где:

ω — плотность потока учитываемых отказов, сопровождающихся снижением подачи тепла потребителям:

$$\omega = a \cdot m \cdot K_c \cdot d^{0,208}, \text{ 1/год.км}$$

где:

a — эмпирический коэффицкент. При нормативном уровне безотказности **a = 0,00003**;

m — эмпирический коэффициент потока отказов, полученный на основе обработки статистических данных [5]. Принимается равным **0.5** при расчете безотказности и **1.0** при расчете готовности:

K_c — коэффициент. учитывающий старение (утрату ресурса) конкретного участка теплосети. При проектировании $K_c = 1$. Во всех других случаях коэффициент старения рассчитывается [3] в зависимости от времени эксплуатации по формуле:

$$K_c = 3 \cdot И^{2,6}$$

$$И = n/n_o$$

где:

И — индекс утраты ресурса.

n — возраст теплопровода.

n_o —расчетный срок службы трубопровода.

Значения K_c при расчетном сроке службы трубопровода, например, **30 лет** даныв табл.3.

Таблица 3

Индекс	Число лет эксплуатации	K_c
0,1	3	0,00754
0,2	6	0,04569
0,3	*9*	0,13111·
0,4	12	0,27000
0,5	15	0,49482
0,6	18	0,79490
0,7	21	1,18680
0,8	24	1,67940
0,9	27	2,28114
1,0	30	3,00000

Нормативные (минимально допустимые) показатели надежности установлены в 1976 году на Всесоюзной конференции по теплоснабжению в г.Минске. В частности, ,вероятность безотказной работы для:

источника тепла — $p_{ит} = 0,97$ (3 отказа за 100 лет);

тепловых сетей — $p_{тс} = 0{,}90$ (10 отказов за 100 лет);

абонента — $p_{тп} = 0{,}99$ (1 отказ за 100 лет):

СЦТ — $p_{тф} = 0{,}9.0{,}97.0{,}99 = 0{,}86$ (14 отказов за 100 лет).

После десятилетней апробации в проектной практике на основе этих показателей был разработан и введен в действие СНиП 2.04.07-86 и взамен его с 01.09.2003 СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети».

Заказчик вправе устанавливать более высокие показатели безотказности.

1.5.2. ГОТОВНОСТЬ

При проектировании - это показатель соответствия проекта нормативному уровню готовности.

В эксплуатации - это показатель фактического состояния и готовности СЦТ к исправной работе.

Готовность к исправной работе системы определяется по уравнению:

$$E_{СЦТ} = \frac{8760 - z_1 - z_2 - z_3 - z_4}{8760};$$

z_1 — число часов ожидания неготовности СЦТ в период стояния нерасчетных температур наружного воздуха в данной местности;

Определяется по климатологическим данным с учетом способности системы обеспечивать заданную температуру в помещениях;

z_2 — число часов ожидания неготовности источника тепла. Принимается по среднестатистическим данным $z_2 \le 50$ часов;

z_3 — число часов ожидания неготовности тепловых сетей.

z_4 — число часов ожидания неготовности абонента. Принимается по среднестатистическим данным $z_4 \le 10$ часов;

Нормативный (минимально допустимый) показатель готовности к исправной работе, приведенный ниже, также принят в 1976 году на Всесоюзной конференции по теплоснабжению в г.Минске:

$$E_{СЦТ} = \frac{n_{год} - z_{год}}{n_{год}} = \frac{8760 - 264}{8760} = 0{,}97.$$

$z_{год}$ — число часов **неготовности** СЦТ к исправной работе при нормативном (минимальном) значении $E_{СЦТ} = 0{,}97$ принимается:

$$z_{год} = z_1 + z_2 + z_3 + z_4 = \mathbf{264\ часа}.$$

Заказчик вправе устанавливать более высокие показатели безотказности.

1.5.3. ЖИВУЧЕСТЬ

Минимально допустимая величина подачи тепла потребителям по условию живучести должна быть достаточной для поддержания температуры в помещениях периода не ниже +3°С в подъездах, лестничных клетках, на чердаках и т.п. (табл. 4).

Таблица4

Диаметр труб тепловых сетей, мм	Время восстан теплосн часов	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления to,°С				
		минус 10	минус 20	минус 30	минус 40	минус 50
		Допускаемое снижение подачи тепла, %, до:				
300	15	0	0	0	10	22
400	18	0	0	13	21	33
500	22	0	7	26	33	43
600	26	0	20	36	42	50
700	29	0	23	40	45	53
800-1000	40	15	38	50	55	62
до 1400	до 54	28	47	59	62	68

Примечания:

1. Температура внутреннего воздуха в помещениях принята:
   +18°С — для районов с расчетной температурой наружного воздуха для отопления выше –30°С.
   +20°С — для районов с расчетной температурой наружного воздуха для отопления ниже –30°С.
2. Коэффициент аккумуляции зданий принят $\beta = 40$.

При невозможности удержания положительных температур в помещениях следует предусматривать мероприятия по обеспечению живучести всех элементов систем теплоснабжения.

2. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КРИТЕРИЕВ НАДЕЖНОСТИ

Расчет показателей системы с учетом фактора надежности предельно прост и может производиться для каждого потребителя во всех эксплуатационных режимах. Поэтому расчеты рекомендуется производить с помощью компьютерной программы. разработанной совместно ВНИПИэнергопромом и Пермским Государственным Техническим Университетом на кафедре теплогазоснабжения, вентиляции и охраны воздушного бассейна с использованием собственных научных трудов по надежности, научных трудов, проектов и работ ОАО «Объединение ВНИПИзнергопром» (далее **ВЭП-ПГТУ**).

Расчет аварийных и штатных гидравлических и тепловых режимов рекомендуется выполнять с помощью компьютерных программ.

При проектировании новых систем рекомендуется пользоваться минимально допустимыми (нормативными) показателям надежности (СНиП 41-01-2003 «Тепловые сети»). Определение фактических показателей надежности действующих следует производить с учетом данных заказчика.

2.1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ.

Проектирование новых тепловых сетей рекомендуется начинать с построения исходного пьезометра для каждого конкретного теплопровода от источника тепла до каждого конечного абонента.

Для обычных двухтрубных тепловых сетей с одинаковыми диаметрами подающих и обратных теплопроводов первичный исходный пьезометр представляет собой симметричный график с равной потерей давления в подающих и обратных теплопроводак тепловых сетей. Тем самым все абоненты ставятся в равные режимные условия.

Исходный пьезометр строится с учетом принятых параметров теплоносителя, рельефа трассы и требований к схемам присоединения абонентов по следующим заданным данным:

- давлению в подающем теплопроводе после запорных задвижек на подающем коллекторе источника тепла.
- давлению в обратном теплопроводе на входе в обратный коллектор источника тепла,
- перепаду давления у конечного потребителя
- условиям гашения избыточного напора на вводах абонентов

Анализ исходного пьезометра обеспечивает возможность предварительного выбора диаметров и выполнения первичной трассировки радиальных не резервированных тупиковых теплопроводов от источника тепла до конечных абонентов.

Затем строятся остальные графики давлений в соответствии с СНиП 41-02-2003:

расчетный – по расчетным расходам сетевой воды;

зимний – при максимальной отборе воды на горячее водоснабжение из обратного трубопровода;

переходный – при максимальном отборе воды на горячее водоснабжение из подающего трубопровода;

летний – при максимальной нагрузке горячего водоснабжения в неотопительный период;

статический – при отсутствии циркуляции в тепловой сети;

аварийные.

2.1.1. РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ

По показателю безотказности при проектировании тепловых сетей следует определять:

по тепловым сетям:

- допустимость проектирования радиальных (лучевых) теплотрасс и в случае необходимости — места размещения резервных трубопроводных связей между радиальными теплопроводами;
- предельно допустимую длину не резервированных участков теплопроводов до каждого потребителя или теплового пункта;
- достаточность диаметров, выбираемых при проектировании новых или реконструируемых существующих теплопроводов, для обеспечения резервной подачи тепла потребителям при отказах;
- необходимость применения на конкретных участках по условию безотказности надземной или тоннельной прокладок, имея в виду, что эти виды прокладок при протяженности менее 5 км, считаются достаточно надежными;
- достаточность запаса прочности теплопроводов надземной прокладки при отказах и вынужденных опорожнениях в период нерасчетных похолоданий;

по потребителям тепла:

- необходимость проведения работ по дополнительному утеплению зданий;
- способы резервирования теплоснабжения для потребителей 1 категории;

по источнику тепла:

- достаточность установленной тепловой мощности для прохождения длительных нерасчетных похолоданий и требуемых температур в помещениях при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления (совместно с расчетом коэффициента готовности).

Пример расчета:

Теплофикационная система г.Артемьевска, обеспечивает теплом спальные микрорайоны. Плотность застройки — 0,5 Гкал/га.

Источник тепла —миниТЭЦ 2хГТ-18 ÷ 2хКВГМ-100.

Протяженность тепловых сетей 80 км. Тепловая сеть радиальная. Распределительные теплопроводы подают тепло к 19 центральным тепловым пунктам (ЦТП). Квартальные тепловые сети присоединены к распределительным по независимой схеме через водо-водяные подогреватели и гидравлически не связаны с ними. Диаметры указаны на схеме (рис 1).

Исходные данные:

- Расчетная температура внутреннего воздуха — +20°С.
- Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления — –26°С, абсолютный минимум — –42°С;
- Коэффициент аккумулирующей способности здания — 40,
- Допустимая конечная температура охлаждения воздуха в помещениях — + 12°С,
- Плотность потока отказов учитывает только те отказы, которые приводят к потере тепла.
- Коэффициент обеспеченности выдачи тепловой мощности (готовность оборудования ТЭЦ и наличие тепловых сетей) = 0,9 Нормативный коэффициент безотказности системы — 0,86.

Расчет.

Расчет в принципе должен проводиться для каждого абонента, но в данном случае достаточно провести расчеты по компьютерной программе ВЭП-ПГТУ для каждого радиального распределительного теплопровода от насосной ТЭЦ до каждого ЦТП.

Перечисленные данные и данные по радиальным теплопроводам (по каждому отдельно) теплофикационной системы г.Артемьевска (длина и диаметр) вводятся в программу.

Расчет автоматически выполняется программой по нормативному показателю безотказной работы (p = 0,86). При необходимости в программу могут быть введены любые иные значения $p \neq 0,86$.

Выполняется расчет вероятности безотказной работы в данном случае для трех основных трасс тепломагистралей: **13-Н, 14-Н, 19-Н** (рис.2, 3, 4. 5.).

Анализ рисунков 2-5 позволяет сделать следующие выводы:

Трасса 19-Н (рис.3) —удовлетворяет требованиям безотказности к ЦТП №№ 2,3,16,18,19.

Трасса 13-Н (рис.4) — удовлетворяет требованиям безотказности только на участке от ЦТП13 до узла «Д». Необходимы меры по обеспечению подачи тепла к ЦТП №№ 1,15,5,8,9,11,12,13.

Трасса 14-Н (рис.5) — удовлетворяет требованиям безотказности только на участке от ЦТП14 до узла «Т». Необходимы меры по обеспечению подачи тепла к ЦТП№№ 4,6,7,10,14.

Оптимальным решением является прокладка дополнительного резервного теплопровода (рис 6) между узлами «О» и «Д», образуя «кольцо» теплопроводов О-Д-Г-В-Б-Л-М-О, и, тем самым. обеспечивая нормативную безотказность теплофикационной системы.

Проводится проверочный расчет не резервированных участков тепловых сетей. отмеченных (выделенных) на рис.7. Требуется проверять все без исключения участки. В данном случае для иллюстрации выбраны отдельные. наиболеенеблагоприятные.

Результаты расчета npедставлены на рис 3,8. 9,10.11.12.13.14.

Как видно из рисунков 3, 8, 9, протяженность не резервированных участков на трассах **19-Н и 13-Н** отвечают условиям безотказности.

Трасса **14-Н** не удовлетворяет требования безотказности (p=0,82329 при нормативном 0.86).

Нормативный показатель безотказности для абонентов трассы 14-Н может быть достигнут многими способами. Например:

- **утеплением** отдельных зданий, у которых значение β меньше требуемого по расчету (рис 10). Колебания β у зданий весьма значительны, поэтому, прежде всего, следует проверить величину действительного β у зданий, рекомендуемых к утеплению. Для г.Артемьевска утепление зданий с доведением величины β с 40 до 46 снижает потери температуры в помешениях за то же время примерно на 1°С;
- **прокладкой второго** резервного теплопровода (рис 6). Способ в данном проекте весьма привлекательный, так как обеспечивает образование еще одного «кольца» Д-Г-Т-Д, что резко увеличивает общую надежность системы, но требует дополнительных капиталовложений;
- **уменьшением диаметров** теплопроводов. если это позволит график давлений и перспектива роста нагрузок (рис.12);
- **снижением (изменением) температуры** воздуха в помещениях (±2°С) при отказах до 11°С с обязательным согласованием с органами саннадзора (рис.13):
- снижением расчетного **срока службы** теплопроводов путем изменения коэффициента старения (рис 14 и 15). На рис.14 изменяется расчетный срок службы для одного конкретного участка № 29: с 20-ти до 15-ти лет. На рис.15 изменяется расчетный срок службы всей трассы с 20-ти до 18-ти лет.
- прокладкой (перекладкой) отдельных участков трассы в **тоннелях или надземно**.

Выбор вариантов осуществляется на основе технико-экономического сравнения.

2.1.2. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОТОВНОСТИ.

С помощью показателей готовности при проектировании следует определять:

- проектную готовность СЦТ к отопительному сезону;
- достаточность установленной тепловой мощности источника тепла для обеспечения исправного (штатного) функционирования СЦТ во всех режимах;
- способность тепловых сетей обеспечить исправное функционирование СЦТ при нерасчетных похолоданиях;
- организационные и технические меры, необходимые для обеспечения исправного функционирования СЦТ на уровне заданной готовности;
- максимально допустимое число часов неготовности источника тепла в течение отопительного сезона;
- температуру наружного воздуха, при которой обеспечивается заданная внутренняя температура у абонента.
- необходимость, параметры п масштабы утепления зданий.

Исходные данные (задаются):

- Расчетная температура внутреннего воздуха — +20°С,
- Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления — –26°С,
- Аккумулирующая способность здания — 40,
- коэффициент обеспеченности готовности источника тепла и тепловых сетей к подаче абоненту расчетного количества тепла — 95%,
- Допустимая погрешность конечной температуры внутреннего воздуха — 2°С,
- Допустимое число часов неготовности источника тепла к исправной работе — 50 часов,
- Допустимое число часов неготовности теплоиспользующих приборов абонента к принятию тепла — 10 часов,
- Плотность потока отказов учитывает все отказы.

Перечисленные данные и данные по радиальным теплопроводам (по каждому отдельно) теплофикационной системы г.Артемьевска (длина и диаметр) вводятся в программу.

Расчет автоматически выполняется программой по нормативному показателю готовности (Е = 0,97).

При необходимости в программу могут быть введены любые иные значения $E \neq 0{,}97$.

Пример расчета:

Расчет производится для г.Артемьевска. Исходные данные приведены выше и в разделе «Вероятность безотказной работы».

Расчет в принципе должен проводиться для каждого абонента. но в данном случае достаточно провести расчеты по компьютерной программе **ВЭП-ПГТУ** для каждого радиального распределительного теплопровода от насосной ТЭЦ до каждого ЦТП.

Перечисленные данные и данные по радиальным теплопроводам (по каждому отдельно) теплофикационной системы г.Артемьевска (длина и **диаметр) вводятся** в программу.

Расчет автоматически выполняется программой по нормативному показателю готовности (Е = 0.97).

Результаты расчета представлены на рисунках 16-25. Анализ показывает следующее:·

- заданный заказчиком коэффициент обеспеченности проектной тепловой мощности ТЭЦ (0.9) тепловыми сетями и состояние.м источника тепла **недостаточен** и в зимний отопительный максимум, начиная с наружной температуры –23.4°С и ниже, потребители будут недогреваться (рис. 16.22.24). Определен минимально необходимый коэффициент обеспеченности **> 0,96**. Необходимо провести дополнительные обследования источника тепла и тепловых сетей в части непосредственно касающиеся обеспечения выдачи тепловой мощности и транспорта тепла (рис. 17,23,25);
- **запас готовности** в данном примере значительный: более 14%. Это позволяет маневрировать при выборе мер по выбору

число часов неготовности источника тепла от нормативных 50 часов до 168 (рис. 19), ЦТП — от нормативных 10 до 127 часов в год (рис.20);

- резервирование потребителей 1 категории предусматривается отдельными теплопроводами от соседних ЦТП, а для больниц, операционных и режимных объектов) собственными индивидуальными резервными теплогенераторами;
- коэффициент готовности теплофикационной системы к исправной работе **Е** для разных потребителей колеблется в допустимых пределах. Это позволяет сделать вывод, что теплофикационная система г.Артемьевска **с учетом реализации рекомендаций** данного проекта **способна обеспечить исправную работу в предстоящем отопительном сезоне, включая 69,7 часов** возможного нерасчетного похолодания (рис. 17,23,25).

В общем случае резервирование потребителей 1 категории может предусматриваться отдельными теплопроводами от другой **СЦТ**, источника тепла, соседнего **ЦТП** или (что рекомендуется в первую очередь для больниц и режимных объектов) собственными индивидуальными резервными теплогенераторами.

Далее проводится гидравлический и тепловой расчеты аварийных режимов по нагрузкам при отказах и уточняются диаметры труб на участках (см. Руководящий Документ ВЭП «Гидравлические расчеты»).

3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ЖИВУЧЕСТИ

Перечень мер по обеспечению живучести систем включает:

- **Мероприятия организационного характера**:
  спуск сетевой воды из систем абонентов, организация локальной циркуляции –сетевой воды в квартальных тепловых сетях абонентов после ЦТП, спуск сетевой воды из тепловых сетей, организация заполнения и прогрева системы;
- **Мероприятия конструктивного характера:**
  проверка прочности элементов с учетом экстремальных условий, обеспечение при проектировании запаса прочности у компенсирующих устройств, величины пригруза бесканально проложенных теплопроводов при нерасчетных затоплениях;
  проверка необходимости утепления зданий;
- **Мероприятия по временному теплоснабжению абонентов:**
  временные байпасные надземные линии, передвижные источники тепла и т.п.

3.1.ОСОБЕННОСТИ ПРОЧНОСТНЫХ РАСЧЕТОВ НАДЕЖНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ

Прочностной расчет элементов с учетом критериев живучести нередко необходимо вести по предельным состояниям. а не по обычным для энергетики допускаемым напряжениям(РД10-249-98). Понятия надежности и живучести требуют максимально полного учета вероятных концентраций напряжений включая возможные колебания:

собственного веса	— 1,2 - 0,9;
веса изоляции	— 1,2-0,9;
веса и давления грунта	— 1,2 - 0,8;
снеговых и ветровых нагрузок	— 1,4;
гололедных	— 1,3;
нерасчетных температурных деформаций	—1,2 - 0.8,
абсолютного минимума температур наружного воздуха	—1,1;

перегрузок от подвижного состава (СНиП 2.05.03-84).

РД 10-2-249-98 и РД 10-400-01 не исключают применения **по усмотрению разработчиков** перечисленных коэффициентов и при ведении расчетов по допускаемым напряжениям.

Коэффициенты в приведенные ниже по тексту формулы не вводились. **Это право предоставлено разработчикам**.

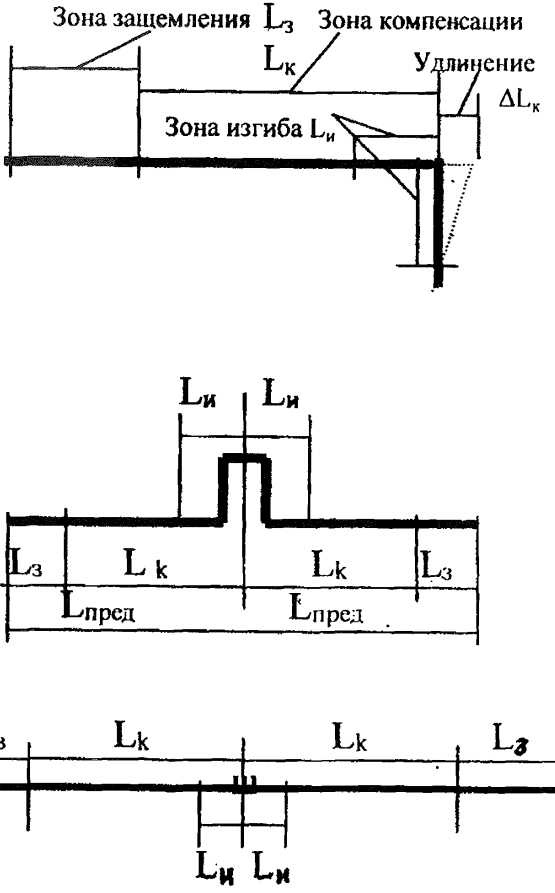
3.2.ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ

Протяженный теплопровод может иметь три вида зон:

– зоны изгиба $[L_И]$ — участки теплопровода, непосредственно

примыкающие к компенсатору. Теплопровод при нагреве перемещается в осевом и боковых направлениях

- зоны компенсации [$L_к$] — участки теплопровода, примыкающие к компенсатору, перемещающиеся при температурных деформациях. Участки изгиба включаются в длину участков компенсации.
- зоны защемления [$L_з$]— неподвижные (защемленные) участки теплопровода, примыкающие к неподвижным опорам или естественно неподвижным сечениям трубы, компенсация температурных колебаний в которых происходит за счет изменения осевого напряжения.



В общем случае деформация теплопровода [ΔL] рассчитывается по формуле:

$$\Delta L = \Delta l_t - \Delta l_{TP} - \Delta l_{ДМ} + \Delta l_p ;$$

где:

Δl_t — температурная деформация

Δl_{TP} — деформация под действнем сил трения

Δl_P — деформация от внутреннего давления

$\Delta l_{ДМ}$ — реакция демпфера (грунта, поролоновых подушек; жесткости осевого компенсатора, упругости П-образных, Г-образных, Z-образных и др. компенсирующих устройств).

3.3. ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ЖИВУЧЕСТИ СИСТЕМ С СИЛЬФОННЫМИ КОМПЕНСАТОРАМИ.

Рассматриваться должно наиболее неблагоприятное сочетание событий:

- вода (теплоноситель) из теплопровода выпущена;
- температура стенки теплопровода равна минимальной температуре наружного воздуха – $\mathbf{t_{мин}}$;
- сильфоны компенсаторов растянуты до упора в ограничители (упоры), которые должны быть рассчитаны на восприятие осевого напряжения, равного расчетному:

$$\sigma_{расч} \le \sigma_{eq} \le \sigma_{тек};$$

где: σ_{eq} – допускаемое эквивалентное напряжение по РД10-249-98;

$\sigma_{тек}$;- предел текучести материала теплопровода.

Примечание: Сильфонные компенсаторы, ограничители которых не рассчитаны на восприятие $\sigma_{расч}$, должны выбираться с использованием компенсирующей способности на диапазон температур $t_1 - t_{мин}$:

$$\mathbf{L_м^{\lambda} = \frac{0{,}9 \cdot 2 \cdot \lambda_A}{\alpha \cdot (t_1 - t_{мин})} < L_{пред}}, \qquad \text{м};$$

где:

$\mathbf{\lambda_A}$ – амплитуда осевого хода, мм;

$\mathbf{\alpha}$ – коэффициент линейного расширения стали, мм/м°С;

$\mathbf{t_1}$ – максимальная расчетная температура теплоносителя, °С;

$\mathbf{t_{мин}}$ – минимум температур наружного воздуха в данной местности. Определяется совместно с заказчиком по СНиП 23.01-99 «Строительная климатология» или по заданному заказчиком коэффициенту обеспеченности (например, $t_{мин\,(0,98)}$), °С.

$$\Delta L = \Delta l_t - \Delta l_{тр} - \Delta l_{дм}$$

Напряжения, возникающие дополнительно в теплопроводе в экстремальных условиях при остывании его от ($t_э$) до ($t_{мин}$), следует определять по приближенной, но достаточной для проверки, формуле:

$$\sigma_{жив} = \frac{\sigma_{ос} + \sigma_{ж} + 0{,}8\sqrt{\sigma_{из}^2 + \sigma_{ветер}^2}}{\varphi_1} \le \sigma_{расч}, \qquad \text{Н/мм}^2;$$

где:

$\mathbf{\sigma_{расч}}$ – определяется по РД 10-249-98 «Нормы расчета на прочность…»;

$\mathbf{\sigma_{ос}}$ – дополнительное напряжение, возникающее в трубе при остывании от ($t_э$) до ($\mathbf{t_{мин}}$):

$$\sigma_{ос} = \alpha \cdot E \cdot (t_э - t_{мин}) \cdot 10^{-3}, \qquad Н/мм^2;$$

$t_э$ – минимальная температура, на которую ведется расчет температурных деформаций:

если расчет ведется по расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления - $t_э = t_0$;

- если расчет ведется по температуре монтажа - $t_э = t_м$;
- если расчет ведется по температуре полного использования расчетной компенсирующей способности компенсатора [λ], это - температура упора в ограничители растянутого сильфона компенсатора - $t_э = t_{упора}$
- если расчет компенсации ведется по минимальной температуре наружного воздуха $t_э = t_{мин}$, и $\sigma_{ос} = 0$.

$\sigma_ж$ – напряжение в трубе от силы жесткости сильфона компенсатора, Н/мм^2:

$$\sigma_ж = \frac{C_\lambda \cdot \lambda}{F_{эф}} \cdot 10^{-3} \qquad Н/мм^2;$$

$\sigma_{из}$ – изгибающее напряжение от собственного веса теплопровода, Н/мм^2:

$$\sigma_{из} = \frac{\dot{g}_{трубы} \cdot L^2_{подв}}{12 \cdot W}, \qquad Н/мм^2;$$

$\sigma_{ветер}$ – изгибающее напряжение от ветровой нагрузки, Н/мм^2:

$$\sigma_{ветер} = 1{,}4 \cdot \frac{\Psi \cdot D_{об} \cdot L^2_{подв}}{12 \cdot W}, \qquad Н/мм^2;$$

в формулах:

$\dot{g}_{трубы}$ — вес 1 м теплопровода без воды, Н/м;

Ψ — скоростной напор ветра, Н/м^2;

$L_{подв}$ — расстояние между подвижными опорами, м;

W — момент сопротивления поперечного сечения стенки трубы;

λ — амплитуда осевого хода, мм;

α — коэффициент линейного расширения стали, мм/м°С;

E — модуль упругости материала трубы, Н/мм^2;

$F_{эф}$ — эффективная площадь поперечного сечения сильфона

Если в результате проверки окажется, что $\sigma_{жив} > \sigma_{расч}$, следует пересмотреть ранее принятые в проекте решения с целью снижения $\sigma_{жив}$ до приемлемых значений (уменьшить длину компенсируемого участка, выбрать сильфонный компенсатор с большей компенсирующей способностью, изменить коэффициент обеспеченности ($(t_{э(0,92)})$·уменьшить расстояния между подвижными опорами и т.д.).

3.4. ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ЖИВУЧЕСТИ СИСТЕМ ПРИ КОМПЕНСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗА СЧЕТ УГЛОВ ПОВОРОТА ТЕПЛОПРОВОДА

Обязателен для *надземной прокладки,* но по требованию заказчика может быть выполнен и для других прокладок.

Рассматриваться должно наиболее неблагоприятное сочетание событий:

- вода (теплоноситель) из теплопровода выпущена;
- температура стенки теплопровода равна минимальной температуре

наружного воздуха – $t_{мин}$.

Проверочный расчет выполняется по стандартным номограммам на перепад температур $\Delta t = t_1 - t_{мин}$, а не $\Delta t = t_1 - t_0$, как это рекомендуется СНиП 2.04.07-86*.

t_1 - рекомендуется принимать не ниже 150°С независимо от расчетной температуры теплоносителя. Если $t_1 > 150°C$, то принимается расчетная температура теплоносителя.

3.5. РАСЧЕТ ТЕПЛОПРОВОДОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ И ВСПЛЫТИЕ

При *бесканальной прокладке* следует проводить проверку теплопроводов на устойчивость в следующих случаях:

- при малой глубине заложения теплопроводов (менее 1 м от оси труб до поверхности земли);
- при вероятности затопления теплопровода грунтовыми, паводковыми или другими водами;
- при вероятности ведения (на трассе или вблизи ее) земляных работ;
- при необходимости принятия дополнительных мер по обеспечению живучести теплопровода (на основе технического задания заказчика).

При вероятности сезонного подъема уровня стояния грунтовых или поверхностных вод **выше** глубины заложения *бесканально проложенных* теплопроводов следует провестм проверку на всплытие не заполненного водой теплопровода.

Критическое усилие при наиболее невыгодном сочетании воздействий и нагрузок, при котором теплопровод теряет устойчивость, подсчитывается по формуле:

$$\Re_{кр} = \frac{1{,}1 \cdot N^2}{E \cdot J} \cdot i, \qquad Н/м;$$

где:

N — осевое сжимающее усилие в трубе, Н;

E — модуль упругости материала трубы, Н/мм^2;

J — момент инерции трубы, см^4;

I — начальный изгиб трубы, м:

$$i = \frac{L_{из}}{200}, \qquad м$$

Lиз— длина местного изгиба теплопровода:

$$L_{изг} = 0{,}1 \cdot \pi \cdot \frac{\sqrt{E \cdot J}}{|N|}, \qquad м$$

где:

|N|—абсолютное значение величины осевого сжимающего усилия в трубе, Н.

Вертикальная нагрузка оказывает стабилизирующее влияние и определяется по формуле:

$$\Re_{ст} = q_{грунта} + q_{трубы} + 2 \cdot S_{сдвига} > \Re_{кр}, \quad Н/м;$$

где:

$q_{грунта}$ — вес грунта над теплопроводом, Н/м,

$q_{трубы}$ — вес 1 м теплопровода с водой, Н/м;

$S_{сдвига}$ — сдвигающая сила, возникающая в результате действия давления грунта в состоянии покоя, Н/м;

Для случаев, когда уровень стояния грунтовых вод ниже глубины заложения теплопровода:

$$S_{сдвига} = 0{,}5 \cdot \gamma \cdot Z^2 \cdot K_o \cdot tg\varphi, \qquad \text{Н/м;}$$

$$q_{грунта} = \gamma \cdot \left[Z \cdot D_{об} - 0{,}125 \cdot D_{об}^2 \cdot \pi\right]. \qquad \text{Н/м;}$$

В формулах:

γ — удельный вес грунта, Н/м^3;

Z — глубина засыпки по отношению к оси трубы, м;

K_o — коэффициент давления грунта в состоянии покоя.

$$K_o = 0{,}5;$$

φ — угол внутреннего трения грунта (естественного откоса);

$D_{об}$ — наружный диаметр оболочки, м.

Осевое сжимающее усилие в защемленном участке прямой трубы с равномерно распределенной вертикальной нагрузкой:

$$N = \left[F_{ст}\left(E \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}3 \cdot \sigma_{раст}\right) \cdot P_{внутр} \cdot F_{пл}\right], \quad \text{Н;}$$

где: $F_{ст}$ — площадь кольцевого сечения трубы, мм^2;

α — коэффициент линейного расширения стали, мм/м^{0}С;

E — модуль упругости материала трубы, Н/мм^2;

Δ_t —принимать равным $(t_1 - t_{монт})$, °С;

$\sigma_{раст}$ — растягивающее окружное напряжение от внутреннего давления, Н/мм^2;

$P_{внутр}$ — внутреннее давление, Н/мм^2;

$F_{пл}$ — площадь действия внутреннего давления, $(0{,}785 \cdot D_{вн}^2)$, мм^2

Пример.

Провести проверку теплопровода **D_y150**, проложенного бесканально, на устойчивость при наиболее неблагоприятном сочетании нагрузок и воздействий. Для случая, когда уровень стояния грунтовых вод **ниже** глубины заложения теплопровода.

1. Осевое сжимающее усилие в защемленной трубе:

$$N = -\left[F_{ст} \cdot (E \cdot \alpha \cdot \Delta t - 0{,}3 \cdot \sigma_{раст}) + P_{внутр} \cdot F_{пл}\right] =$$

$= -[2183 \cdot (2\ \ 10^5 \cdot 0{,}012 \cdot 140 \cdot 10^{-3} - 0{,}3 \cdot 26{,}7) + 1{,}6 \cdot 17662{,}5] = -744283$ Н;

Тот же с коэффициентом на утонение стенки трубы (0,9):

$= -(2183 \cdot 0{,}9 \cdot (2 \cdot 10^5 \cdot 0{,}012 \cdot 140 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}3 \cdot 26{,}7) + 1{,}6 \cdot 17662{,}5] = -672680$ Н;

2. Длина местного изгаба теплопровода:

$$L_{изг} = 0{,}314 \cdot \frac{\sqrt{E \cdot J}}{|N|} = 0{,}314 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot 10^5 \cdot 664{,}4}}{744283} = 4{,}2 \text{ м}$$

тоже с утонением стенки трубы: $L_{изг}$ = 4,4 м.

3. Начальный изгиб трубы:

$$i = \frac{L_{изг}}{200} = \frac{4{,}2}{200} = 0{,}021 \text{ м}$$

То же с утонением стенкн трубы: I = 0,022 м

4. Критическое усилие, при котором защемленный теплопровод при бесканальной прокладке теряет устойчивость:

$$\Re_{кр} = \frac{1{,}1 \cdot N^2}{E \cdot J} \cdot i = \frac{110 \cdot 744283^2}{2 \cdot 10^5 \cdot 664{,}4} = 0{,}021 = 9630 \text{ Н/м}$$

То же с утоненнем стенкн трубы: $\Re$ = 8240 Н/м;

5. Вес грунта над теплопроводом грунта:

$$q_{грунта} = \gamma \cdot \left[Z \cdot D_{об} - 0{,}125 \cdot D_{об}^2 \cdot \pi\right] =$$
$$= 18000 \cdot \left[1 \cdot 0{,}250 - 0{,}125 \cdot 0{,}250^2 \cdot 3{,}14\right] = 4058 \text{ Н/м}$$

То же с коэффнцнентом 0,8 на грунт: $q_{грунта}$ = 3246 Н/м

6. Сдвигающая сила, возникающая в результате действия давления грунта в состоянии покоя:

$$S_{сдвига} = 0{,}5 \cdot \gamma \cdot Z^{2\cdot} K_o \cdot tg\varphi = 0{,}5 \cdot 18000 \cdot 1^2 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}7 = 3150 \text{ Н/м.}$$

То же с коэффицнентом 0,8 на грунт: $S_{сдвига\cdot}$ = 2520 Н/м.

7. Стабилизирующая вертикальная нагрузка:

$$\Re_{ст} = q_{грунта} + q_{трубы} + 2 \cdot S_{сдвига} =$$
$$= 4058 + 503 + 2 \cdot 3150 = 10861 \text{ Н/м}$$
$$\Re_{ст} > \Re_{кр}$$

Стабилизирующая вертикальная нагрузка больше критического усилия, поэтому защемленный теплопровод сохранит устойчивость. даже при наиболее неблагоприятном сочетании нагрузок и воздействий.

с коэффициентом 0,9 на вес трубы и изоляции:

$$\Re_{ст} = 3248 + 503 \cdot 0{,}9 + 2 \cdot 2520 = 8741 \text{ Н/м}$$

$$\Re_{ст} > \Re_{кр}$$

Стабилизирующая вертикальная нагрузка **меньше** критического усилия, поэтому защемленный теплопровод **не сохранит** устойчивости при наиболее неблагоприятном сочетании нагрузок и воздействии. Необходим пригруз (балласт), например, в виде утяжеленных неподвижных опор.

Если уровень грунтовых или сезонных поверхностных вод (паводок, подтопляемые территории и т.п.) может подниматься **выше** глубины заложения бесканально прокладываемых теплопроводов, т.е. существует вероятность всплытия труб при их опорожнении. Необходимый вес балласта, который должен

сообщить теплопроводу надежную отрицательную плавучесть определяется по формуле:

$$\Re_{бал} = K_{вспл} \cdot \gamma_{пульпы} \cdot \omega_{вспл} + \dot{g}_{трубы} + q_{н.п.}, \quad Н/м$$

где: $K_{вспл}$ — коэффициент устойчивости против всплытия.

Принимается равным:

1,10 —при периодически высоком уровне грунтовых вод или при прокладках в зонах подтопляемых территорий;

1,15 — при прокладках по болотистой местности.

$\gamma_{пульпы}$ — вес пульпы (воды и взвешенных частиц грунта), $Н/м^3$;

$\omega_{вспл}$ — объем пульпы, вытесненной теплопроводом, $м^3$ /м;

$\dot{g}_{трубы}$ — вес 1 м теплопровода без воды, Н/м;

$q_{н.п.}$ — вес неподвижных опор, Н/м.

3.6. ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ТРУБ ПРИ НЕРАСЧЕТНОМ ПОХОЛОДАНИИ

Вероятность нерасчетного похолодания ранее при проектировании, как правило, не учитывалась. Поэтому рекомендуется провести дополнительную проверку трубопроводов на прочность при следующих условиях:

- прокладка теплопроводов надземная.
- сетевая вода из теплопровода спущена,
- температура стенки стальной трубы равна абсолютному минимуму температур $t_{мин}$ наружного воздуха в данной местности,
- эквивалентное напряжение в стальной трубе при расчетной температуре to наружного воздуха имеет максимальное значение:

$$\sigma_э = 1{,}5\,[\sigma].$$

Суммарное снижение напряжения в трубе за счет снятия внутреннего давления $\sigma_{вн}$ и уменьшения изгибающего напряжения вследствие опорожнения трубы $\sigma_{из}$ должно быть больше дополнительного напряжения, возникающего в защемленном трубопроводе при нерасчетном похолодании до абсолютного минимума температур в данной местности:

$$\sigma_{вн} + 0{,}8 \cdot \sigma_{из} \geq \alpha \cdot E \cdot (t_0 - t_{мин}).$$

где:

$$\sigma_{вн} = \frac{P_{вн} \cdot D_{вн}^2}{4 \cdot (D_{вн} + s) \cdot s}$$

$$\sigma_{из} = \frac{q_{воды} \cdot L_{подв}^2}{12 \cdot W}$$

где

$D_{вн}$ — внутренний диаметр трубы,

S — толщина стенки трубы,

$q_{воды}$ — сила тяжести сетевой воды,

$L_{подв}$ — расстояние между подвижными опорами,

W — момент сопротивления поперечного сечения трубы,

$\mathbf{P_{вн}}$ — внутреннее давление среды.

Если это условие не выдерживается, следует принимать дополнительные меры по обеспечению достаточной прочности элементов и обеспечению живучести системы.

Пример:
В г.Артемьевске:

$$\sigma_{ос} = 0{,}012 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (-26 + 42) \cdot 10^{-3} = 38{,}4\ \text{Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{вн} = \frac{1{,}6 \cdot 0{,}150^2}{4 \cdot (0{,}15 + 0{,}0045) \cdot 0{,}0045} = 12{,}9\ \text{Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{из} = \frac{176{,}7 \cdot 9^2}{12 \cdot 0{,}1 \cdot (15{,}9^4 - 15^4) : 15{,}9} = 14{,}3\ \text{Н/мм}^2$$

$$12{,}9 + 0{,}8 \cdot 14{,}3 = 24{,}3\ \text{Н/мм}^2 < 38{,}4\ \text{Н/мм}^2$$

что соответствует температуре наружного воздуха:

$$t_н = -26 - \frac{24{,}3}{0{,}012 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3}} = -26 - 10 = -36^0\,\text{C}$$

Для теплопроводов **Dy 150-300** мм теплосетей г.Артемьевска (как и для Москвы) условие не выдерживается. Рекомендуется принять дополнительные меры по обеспечению достаточной прочности элементов и обеспечению живучести.

3.7.УТЕПЛЕНИЕ ЗДАНИИ

Необходимость утепления зданий следует определять по методике Пермского государственного технического университета.

Из расчета показателей вероятности безотказной работы и готовности системы к исправной работе определяется рекомендуемое (необходимое, оптимальное) значение коэффициента аккумуляции зданий (теплового эквивалента внутреннего объема, аккумулирующего тепло) — β.

Время остывания внутреннего объема на единицу площади передающей поверхности определяется:

$$z = \beta \ln \frac{t_1 - t_н}{t_2 - t_н}$$

где:

z — время остывания помешения,

β —— коэффициент аккумуляции здания,

$\mathbf{t_н}$ — температура наружного воздуха,

$\mathbf{t_1}$ — начальная температура внутреннего воздуха,

$\mathbf{t_2}$ — конечная температура внутреннего воздуха.

χ —доля снижения подачи тепла в отапливаемые помещения.

Если известна доля снижения подаваемого тепла [χ] в отапливаемые помещения в долях от расчетного, то конечная внутренняя температура воздуха после ликвидации повреждения, длившегося [z] часов, составит:

$$t_2 = t_н + (t_1 - t_н) \cdot e^{-z(1-\chi):\beta}$$

3.8. ЭКОЛОГИЯ И ЗДОРОВЬЕ

В объем проверки живучести СЦТ в качестве обязательной входит проверка достаточности самоочищаемости атмосферы для принципиальной допустимости безопасного размещения источников тепла СЦТ.

Порог достаточной величины самоочищаемости атмосферы определяется в процентах по формуле:

$$К_{са} = \frac{В_б + Д_д}{В_м + Д_{тум}} \cdot 100 \geq 25\%;$$

где:

$В_б$ и $В_м$ — повторяемость скоростей ветра (большого - более **6 м/с**, малого-до 1м/с),%

$Д_д$ и $Д_{тум}$ — повторяемость в году дней дождливых и с туманом, %.

Если **Кса** меньше **25%**, значит естественное очищение атмосферы практически недостаточно, и для теплоснабжения объектов должны применяться теплогенераторы, не потребляющие органические виды топлива: электрические, солнечные, атомные и т.п.

Последствия для населения работы источника тепла при неблагоприятном коэффициенте самоочищения атмосферы определяются по зависимости (Госкомгидромет СССР) общей частоты заболеваемости населения (**З** - случаев/тыс.чел в год) от индекса суммарного загрязнения атмосферы выбросами вредных веществ **($P = 5 \div 45$)**, жесткости погоды и выбросов автотранспорта (среднестатистические величины двух последних факторов вошли в число 6,3):

$$Ln З = 6{,}3 \cdot 0{,}151 \cdot In P.$$

4. ДИАГНОСТИКА ТРУБОПРОВОДОВ И НАДЕЖНОСТЬ

4.1. Одной из самых актуальных проблем в тепловых сетях является неуклонно возрастающая доля коррозионных повреждений [рис.26].

Для уверенной характеристики потока отказов относительно небольших систем централизованного теплоснабжения, отдельного, участка теплопровода, конкретной теплотрассы и т.п. целесообразно привлечение дополнительных данных, которые могли бы повысить точность анализа. Более достоверные данные о фактическом состоянии трубопроводов могут быть получены путем проведения инженерной диагностики и последующего анализа результатов с учетом влияния интенсивности потока отказов на весь комплекс данной теплоснабжающей системы по методу ВЭП-ПГТУ.

4.2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ДИАГНОСТИКИ КОРРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

4.2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

Комплексный метод диагностики коррозионного состояния трубопроводов, разработанный и внедренный в ряде городов России НПК «ВЕКТОР» позволяет выявлять коррозионные дефекты типа утонения стенки непосредственно на обследуемых трубах.

Метод не имеет аналогов в практике диагностирования и основывается на анализе спектра акустических сигналов, получаемых от исследуемого участка трубопровода. Диагностика проводится на действующих тепловых сетях при эксплуатационных параметрах теплоносителя без вскрытия теплотрасс. Специализированное компьютерное программное обеспечение после обработки акустического спектра позволяет идентифицировать зоны расположения коррозионных дефектов с определением степени коррозионного поражения металла.

При анализе состояния диагностируемых участков тепловых сетей проводится сопоставление с имеющимися результатами тепловой инфракрасной аэрофотосъемки по идентификации аномальных температурных зон.

В результате комплексной диагностики участка тепловой сети приборными и визуальными методами определяются:

- интервалы трубопровода, пораженные интенсивной коррозией;
- факторы коррозионного поздействия на трубопровод: подтопление, заиливание, осыпи грунта, деструкции тепловой изоляции и т.п. ;
- опасность электрохимической коррозии наружной поверхности труб, включая воздействие блуждающих токов и влияние смежных подземных коммуникаций;
- толщина металла труб и глубина наружных коррозионных язв в доступных местах посредством прямых измерений;
- фактическая скорость коррозии труб;

- состояние конструктивных элементов трубопроводов: неподвижных и подвижных опор, тепловой изоляции, антикоррозионных покрытий и т.п. в доступных местах;
- состояние строительных конструкций, включая попутный дренаж, наличие капели и протечек поверхностных вод через перекрытия.

4.2.2. АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА КОРРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Акустический контроль основан на физическом явлении движения теплоносителя по трубопроводу. При этом места коррозионных поражений проявляются как источники акустических сигналов, несущие информацию о месторасположении и степени коррозионного повреждения дефектного участка. Переносчиками информации, подлежащей анализу, являются акустические колебания, распространяющиеся в среде теплоносителя с частотным диапазоном от 50 Гц до 5 КГц.

Первый этап заключается в регистрации звукового фона трубопровода на диагностируемом участке.

Регистрация акустических сигналов производится двумя пьезоэлектрическими датчиками, устанавливаемыми на концах участка непосредственно на механически зачищенную до металлического блеска поверхность труб. Сигналы от датчиков передаются в блок регистрации по кабельным линиям, где записываются на магнитный носитель. Блок регистрации и записи находятся внутри передвижного диагностического центра.

Второй этап акустического контроля заключается в анализе акустических записей с выделением при помощи электронных и цифровых фильтрующих систем сигналов, несущих максимальную информацию о наличии и степени коррозионного повреждения металла труб. Вся обработка осуществляется на компьютерной технике с применением специально разработанных программ, использующих различные методы спектрального и корреляционного анализа. По характеру результирующей корреляционной функции делается заключение о наличии, месторасположении и степени подверженности коррозии металла труб.

При акустическом контроле обнаруживаются дефектные участки и их месторасположение на диагностируемом трубопроводе со следующей классификацией, предложенной ВНИПИэнергопромом:

критический коррозионный дефект - утонение стенки трубы или серия язв с остаточной толщиной стенки:

$$s_{кр} = \frac{P_{раб} \cdot D_{нар}}{0{,}8 \cdot 2 \cdot \varphi \cdot [\sigma_в] + P_{раб}},$$

где: $P_{раб}$ — рабочее давление в трубопроводе;
$D_{нар}$ — наружный диаметр трубопровода;
φ — рочность сварного шва;
$[\sigma_в]$ — предел прочности металла трубы;

предельный коррозионный дефект - утонение стенки трубы или серия язв с остаточной толщиной стенки:

$$s_{пр} = \frac{P_{раб} \cdot D_{нар}}{0{,}8 \cdot 2 \cdot \varphi \cdot [\sigma_\tau] + P_{раб}},$$

где: $[\sigma_\tau]$ — предел текучести металла трубы;

дефектный интервал - серия дефектов на отмеченном отрезке. Месторасположение дефектного интервала определяется с точностью **± 2,5%** от длины диагностируемого участка.

Зона сплошной коррозии - но толщина стенки трубы не достигла предельной.

Диагностика осуществляется на действующих трубопроводах без вскрытия диаметром более **80 мм**, находящихся в рабочем состоянии при давлении не менее **0,3 МПа**. Длина диагностируемого участка, т.е. расстояние между точками доступа (камеры, смотровые колодцы, подвалы домов и т.п.) - от 40 до 200м.

Результаты акустической диагностики [Рис.27-30] представляются в виде Технического заключения на участок трубопровода с указанием:

обнаруженных мест коррозионных повреждений металла труб с оценкой степени опасности дефекта,

скорости коррозии и причины превышения скоросги коррозии от нормативной.

технического состояния обследованного участка,

рекомендаций по ремонту.

4.3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ С УЧЕТОМ ДАННЫХ ДИАГНОСТИКИ.

4.3.1. ОПТИМИЗАЦИЯ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

По технико-экономическим данным конкретной системы, получаемым от заказчика, с помощью компьютерной программы ВЭП-ПГТУ определяются фактические уровни безотказности и готовности к исправной работе.

При несоответствии показателей безотказности и готовности заданным (или нормативным) разрабатываются предложения с перечнем мероприятий, обеспечивающих требуемую надежность теплофикационной системы.

4.3.2. ОТБОР УЧАСТКОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Инженерная диагностика – это надежный, но трудоемкий и дорогостоящий метод обнаружения потенциальных мест отказов, требующий создания постоянно действующего специализированного подразделения – службы, способной самостоятельно проводить диагностику тепловых сетей, обоснованно формировать на основе диагностики ежегодные планы капитальных ремонтов.

По результатам расчета надежности определятся перечень участков тепловых сетей, которые в первую очередь нуждаются в комплексной диагностике.

Критерии отбора:

I очередь: нерезервированные участки,

II очередь: резервированные участки.

Из нерезервированных и тупиковых участков в первую очередь следует диагностировать:

- участки, подверженные периодическим затоплениям поверхностными или грунтовыми водами,
- участки после случайного, вызванного стихийным бедствием, затопления агрессивными водами,
- участки, на которых проложены трубопроводы, отработавшие более 60% ресурса,
- участки в зонах высокой плотности блуждающих токов.

4.3.3. КОМПЛЕКСНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА

Проводится комплексная диагностика, включающая:

- акустическую диагностику с записью и компьютерной обработкой акустических сигналов для определения дефектных мест,
- инструментальную с замером толщин коррозии труб и электрических потенциалов,
- визуальную с осмотром состояния конструкции и элементов.

Составляется ситуационная карта тепловых сетей с обозначением на каждом участке трубопроводов:

- остаточной толщины металла труб и глубины коррозионных повреждений, язв с разделением повреждений на критические и предельно допустимые,
- мест, подверженных интенсивной коррозии с обозначением скорости коррозии,
- дефектных интервалов коррозионных повреждений

а также:

- факторов коррозионного воздействия на трубопроводы (подтопление, заиливание, осыпи грунта и т.п.),
- опасности электрохимической коррозии, включая воздействие блуждающих токов и влияние смежных подземных коммуникаций,
- состояния строительных конструкций тепловых сетей, включая попутный дренаж,
- капели и протечки поверхностных вод в каналы тепловых сетей.

Результаты инженерной диагностики в виде ситуационных карт и таблиц передаются как исходные данные для комплексного анализа.

4.3.4. КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ

а) фактического состояния тепловых сетей с определением критической и предельной толщины металла стенки с учетом марки стали трубы, условий эксплуатации, фактической скорости коррозии, старения и остаточного срока службы теплопровода.

б) фактического состояния теплофикационной системы в целом.

В процессе анализа должен быть уточнен фактический показатель **эксплуатационной готовности к исправной работе** тепловых сетей с учетом

реального технического состояния всей теплофикационной системы и выполнено сравнение с единым действующим нормативным показателем готовности Российской Федерации.

Программа, разработанная во ВНИПИэнергопроме, позволяет осуществить весь необходимый анализ состояния каждого участка тепловых сетей и системы в целом.

Задание всех входных данных производится на листе «**Результат**» с помощью клавиатуры в ячейки, выделенные серым цветом.

1. Общие исходные данные по системе в целом:
   - код города (выбирается из списка на листе "Города"); .
   - α — коэффициент обеспеченности расчетной мощности сетями и источником;
   - Δ_t — предельное отклонение температуры внутреннего воздуха от расчетной [°С];
   - β — коэффициент утепления зданий;
   - **a** — нормативный коэффициент характеризующий плотность потока отказов трубопровода в год [отказ / (км · год)];
   - **b** — коэффициент;
   - **m** — коэффициент восстановительных работ;
   - $V_{кор}$ — средняя скорость коррозии труб [мм / год];
   - Z_2 — время неготовности источника тепла [час];
   - Z_4 — время неготовности потребителя тепла [час].
2. Исходные данные по трубопроводам (максимальное количество участков - 20):
   - D_y — условный диаметр [м];
   - **L** — длина участка [км];
   - марка стали трубопровода (список марок сталей высвечивается, если навести указатель мышки на ячейку с названием колонки, так же он находится на листе **"Таблицы");**
   - $S_{тек}$ — минимальная текущая толщина стенки трубопровода на данном участке [мм];
   - $n_{кр}$, $n_{пр}$ — возможное количество аварий на данном участке трубопровода исходя из критического или предельного состояния трубопровода, или другими, словами количество мест на трубопроводе, в которых толщина стенки меньше соответственно критической или предельной толщины стенки трубопровода;
   - $T_{экс}$ — время, которое трубопровод находится в эксплуатации [лет];
   - $T_{сл}$ — проектный срок службы трубопровода [лет];
   - номер типа прокладки и вида изоляции (перечень высвечивается, если навести указатель мышки на ячейку с названием колонки, так же он находится на листе **"Таблицы").**

i. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

1. Результаты расчета в целом по системе:
   - $t_{Δвн}$ — температура внутреннего воздуха с учетом отклонения от расчетной [°С];
   - $t_{Δвн}$ — температура наружного воздуха при которой обеспечивается

внутренняя температура [°C]

- **Zl** — дополнительное число часов неготовности при нерасчетном похолодании [час];
- **Z4** — время неготовности потребителя тепла [час];
- **E** — коэффициент готовности системы.

2. Результаты расчета по трубопроводам (максимальное количество участков - 20):
   - $\mathbf{S_{ном}}$ — номинальная толщина стенки трубопровода (мм);
   - $\mathbf{S_{кр}}$ [1] — толщина стенки при критическом состоянии стальной трубы [мм];
   - $\mathbf{S_{пр}}$ [1] — толщина стенки при предельно допустимом состоянии стальной трубы [мм];
   - $\mathbf{K_c}$ [3] — коэффициент старения трубопровода;
   - $\mathbf{V_{кор}}$ [3] — скорость коррозии [мм];
   - $\mathbf{T_{ост}}$ [3,4] — оставшийся срок эксплуатации [лет];
   - **Q** — пропускная способность трубопровода, то есть количество тепла потерянное за единицу времени из-за аварии на теплопроводе [Гкалл/час];
   - **E** — коэффициент готовности по участкам;
   - $\mathbf{K_{рем}}$ [2,5] — капиталовложения на осуществление ремонта поврежденного участка теплопровода [тыс руб];
   - $\mathbf{K_{пр}}$ [2,5] — капиталовложения на прокладку данного участка теплопровода заново [тыс.руб].

Примечания:

[1] — в данной программе при расчете толщины стенок теплопроводов за основу взято рабочее давление $\mathbf{P_{раб}}$ **=1.6 МПа** и прочность сварного шва φ = **0.8**, если в Вашей системе эти параметры другие, то Вы можете их исправить на листе **"Таблицы"** в соответствующих ячейках;

[2] — стоимость прокладки тепловых сетей указана по состоянию на 01.01.2002 года, для пересчета в цены нужного Вам года введите поправочный коэффициент в соответствующую ячейку на листе **"Таблицы".**

[3] — надпись "новый" в этом столбце говорит о том, что трубопровод новый $\mathbf{T_{экс}}$ **=0**;

[4] — надпись "вечно" в этом столбце говорит о том, что скорость коррозии на этом участке отсутствует $(\mathbf{S_{ном}} = \mathbf{S_{тек}}) \cdot \mathbf{V_{кор}} = \mathbf{0}$;

[5] — надпись "не изгот." в этом столбце говорит о том, что данный диаметр трубы с данной изоляцией не изготовляется.

ПРИМЕР ПРОЕКТА

ИНЖЕНЕРНОЙ ДИАГНОСТИКИ УЧАСТКА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ В г. АРТЕМЬЕВСКЕ

В качестве иллюстрации дан пример проекта инженерной диагностики участка тепловых сетей «узел Г- ЦТП17».

Диагностика проводилась специализированной службой г. Артемьевска под руководством и при участии НПК «ВЕКТОР».

Результаты диагностики

Результаты диагностики представлены на ситуационной карте рис.27 и в таблицах (рис. **28,29,30**).

На ситуационной карте (рис.27) дана трасса тепловых сетей «Г-ЦТП17» с нанесенными результатами диагностики. Трасса разбита на 5 рабочих участков и указано место железнодорожного переезда, где отдельно проводились замеры потенциалов труб в рамках специальной работы по защите стальных труб тепловых сетей от электрохимической коррозии.

Указано состояние стальных труб по участкам раздельно для подающего и обратного теплопроводов со следующей градацией:

- дефектный интервал - со сквозными язвами и критическими коррозионными дефектами,
- дефектный интервал - с предельными коррозионными дефектами,
- дефектный интервал - с зоной сплошной коррозии,
- интервал удовлетворительного состояния трубопроводов.

Для каждого участка указывается размещение критических и предельных дефектов, как это показано на ситуационной карте для участка «а» - «б».

В таблицах (рис. **28, 29**) указана полная характеристика каждого дефектного интервала, наименьшая толщина металла труб, число таких мест, марки стали труб, номинальная толщина труб. В отдельной колонке каждой таблицы даны предполагаемые причины образования дефектов.

На участке 5, где проходит электрифицированная железнодорожная линия, проведены замеры потенциалов труб (рис.30).

Анализ существующего состояния

Анализ производился по РД-7-ВЭП с применением компьютерной программы ВНИПИэнергопрома.

Анализ всей трассы «Г– ЦПК17» представлен на рисунках:

31, 32, 33— по подающему трубопроводу,

34, 35, 36— по обратному трубопроводу.

Расчет дал следующие результаты (учитывающие рекомендации предыдущих глав по повышению надежности):

По состоянию системы:

$t_{\Delta вн}$ — температура внутреннего воздуха с учетом минусового отклонения от расчетной — **+18°С**;

$t_{\Delta вн}$ — температура наружного воздуха, при которой обеспечивается внутренняя температура — **–26°С**;

Zl — дополнительное число часов неготовности при нерасчетном похолодании — **66,76 час**;

Z4 — время неготовности потребителя тепла — **10 час**;

По состоянию теплопроводов:

$S_{ном}$ — номинальная толщина стенки трубопровода — **7 мм**;

$S_{кр}$ [1] — толщина стенки при критическом состоянии стальной трубы — **1,154 мм**;

$S_{пр}$ [1] — толщина стенки при предельно допустимом состоянии стальной трубы — **2,407 мм**;

K_c [3] — коэффициент старения трубопровода — **0,1724**;

Диагностирование теплопроводов обнаружило:

- 118 мест{см. рисунки 32, 35) с критическими дефектами,
- 269 мест (см. рисунки 32, 35) с предельными дефектами,
- сплошной коррозией покрыт подающий теплопровод на участках «Г - а» и «б - е»;
- в удовлетворительном состоянии находится обратный теплопровод на участках «Г - а» и «б - е»;
- несмотря на небольшой срок службы (10 лет), отработали свой ресурс: подающие теплопроводы на участках «а-б» «б-в» и «е ЖД» (рис.33) обратные теплопроводы на участках «а-б» и «е-ЖД».

Трасса «Г-ЦПК17» (взятая в отдельности от системы) не отвечает нормативам готовности к исправной работе (**E = 0,739** при норме **0,97**).

Число часов неготовности трассы по критическим дефектам подающего теплопровода составляет **2153** часа, а по обратному — **338** часов. в то время как по другим трассам число часов неготовности не превышает 15,5 – 8,7 часов.

Это объясняется чрезвычайно неблагоприятной гидрогеологической обстановкой в районе трассы «Г-ЦПК17»: практически сплошное подтопление района прохождения трассы грунтовыми водами, канализационными и агрессивными производственными стоками.

Как видно из расчетов, в ближайший отопительный сезон в теплофикационной системе г.Артемьевска на участке распределительных тепломагистралей от узла Г до ЦТП17 протяженностью 2,63 км ожидается тяжелая предаварийная обстановка.

РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Предаварийность состояния трассы «Г-ЦТП17» в принципе была известно до проведения диагностики.

   Планом ремонтно-восстановительных работ предусматривалась перекладка всей трассы от узла «Г» до ЦТП17 протяженностью 2630 метров. Для этих целей были выделены средства в размере 41,351 млн.рублей.
2. Настоящим проектом предлагается переложить только три участка: «а-б» «б-в» и «е ЖД» общей стоимостью перекладки 15,985 млн рублей.

   Таким образом 25,366 млн.рублей будут сэкономлены в результате проведения инженерной диагностики.
3. План дальнейших перекладок рекомендуется уточнить в соответствии с ранжиром по готовности, указанном на рисунках 33а и 36а.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1. Ковылянский Я.А. Проектирование тепловых сетей при помоши ЭВМ с учетом надежности. Труды Теплоэлектропроекта, 1972, Вып.12.

2. Ковылянский Я.А., Старостенко Н.Н., Практическая методика количественной оценки надежности тепловых сетей. Теплоэнергетика. № 5. 1997.

3. Грачев Ю.Г., Красовский Б.М. и др. Учет старения трубопроводов при оценке надежности. Труды ПГТУ. 1998.

4. Грачев Ю.Г., Гришкова А.В., Красовский Б.М., Романова Т.Н. Совершенствование методики расчета параметров надежности. Труды ПГТУ. 1998.

5. Романова Т.Н. Определение параметров надежности и резервирования систем теплоснабжения с учетом современных требований к теплотехническим характеристикам здания. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Пермь.2000.

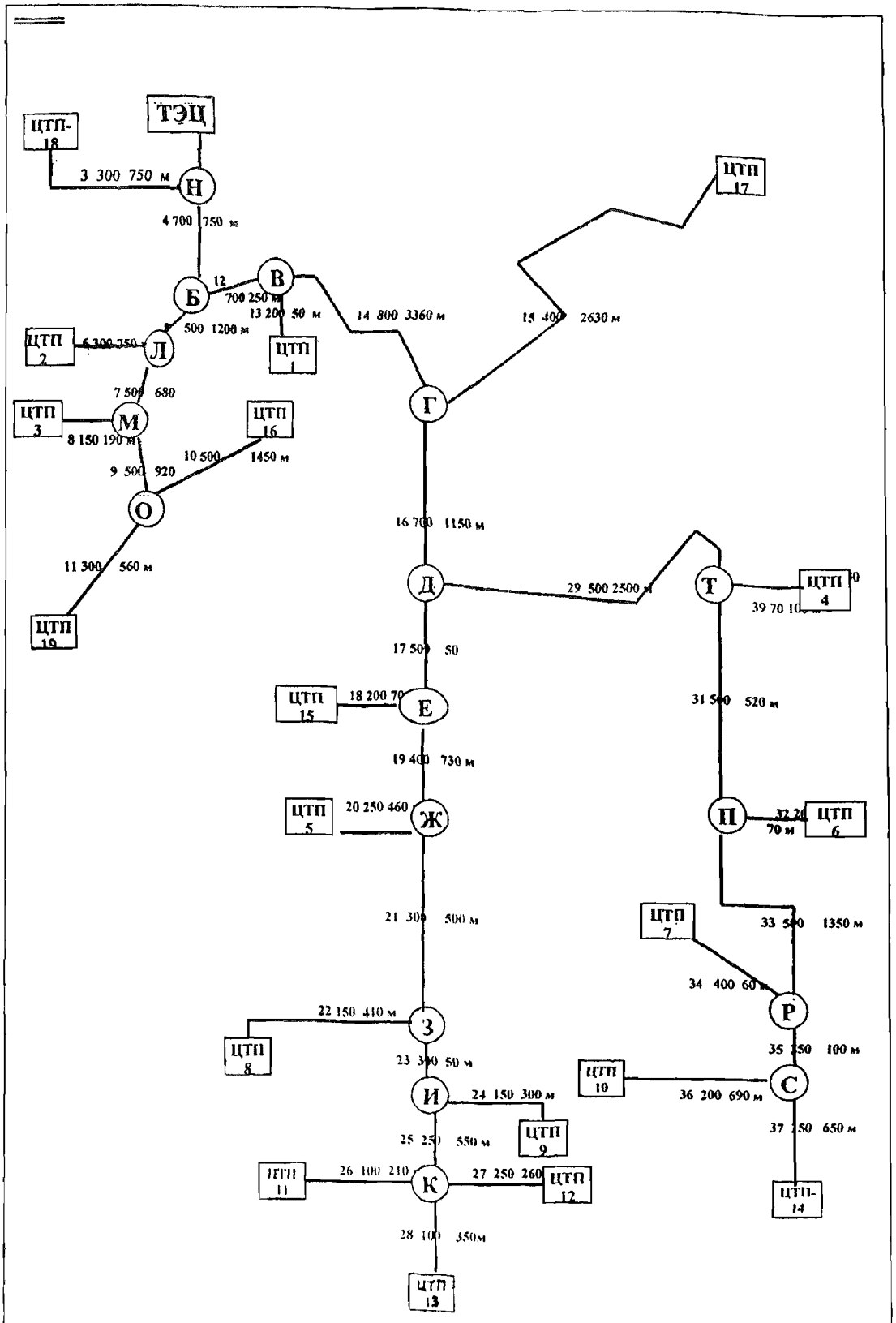


Рис. 1 Расчетная схема распределительных теплопроводов г. АРТЕМЬЕВСКА:
— резервный теплопровод; 1 … 50 — участки тепловых сетей; Н – насосная;
ТЭЦ — теплоэлектроцентраль; ЦТП – центральные тепловые пункты;
28 100 350 м — номер участка - диаметр - длина

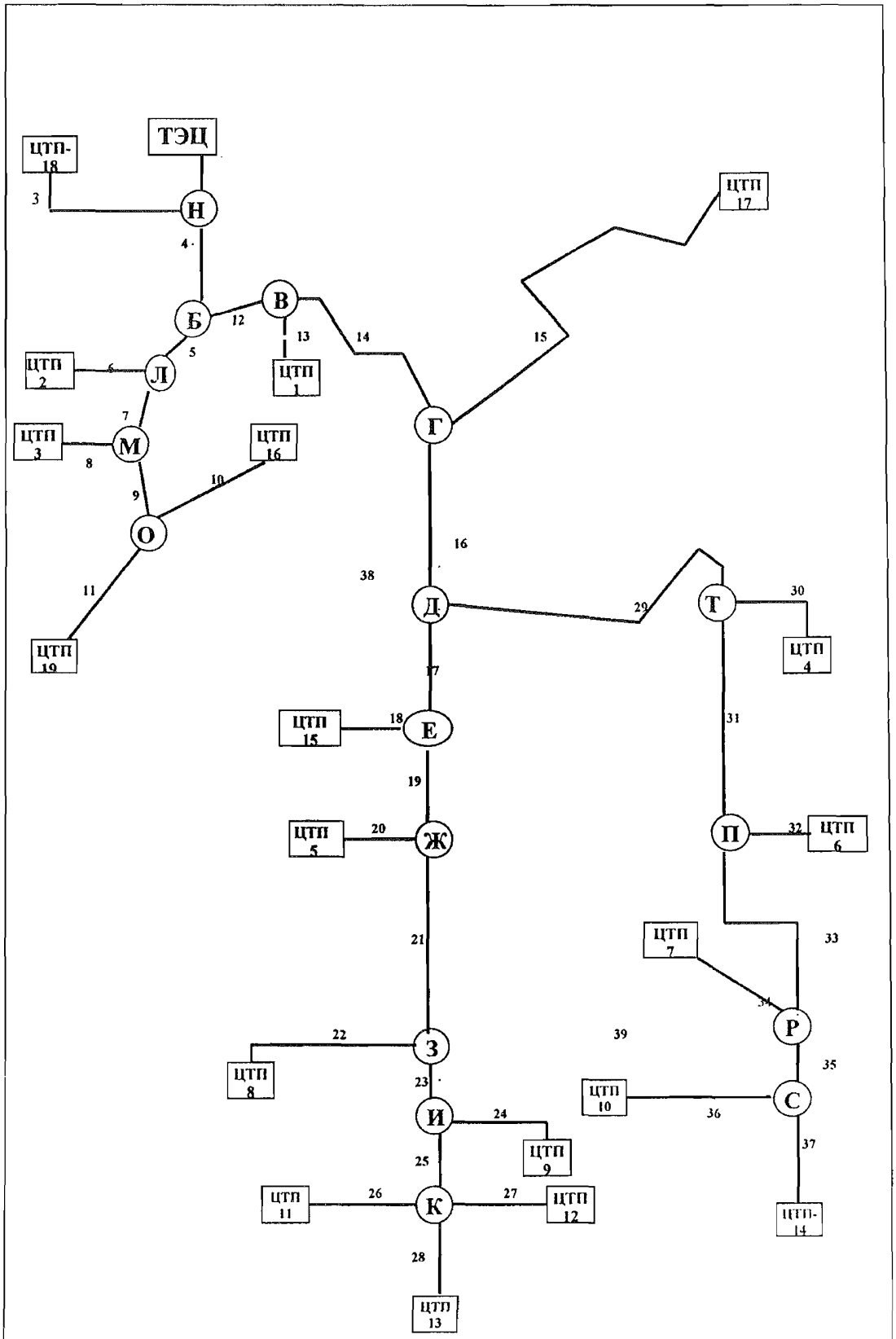


Рис. 2 Схема действующих распределительных теплопроводов г. АРТЕМЬЕВСКА:
ТЭЦ — теплоэлектроцентраль; Н – насосная; ЦТП – центральные тепловые пункты;
1···50 – участки тепловой сети

Расчет вероятности безотказной работы

Город **197** **Трасса 19-Н**

Артемьевск

Тн - начальная температура внутреннего воздуха	20
Тк - конечная температура внутреннего воздуха	12

Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент К (учет старения трубопроводов)	0
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	0,5

Рис.3

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс	Сумма отказов по отрезкам	Вероятность безотказной работы
11	0,3	0,56	1	0,00951924	0,99052593
9	0,5	0,92	1	0,04059094	0,96022183
7	0,5	0,68	1	0,06355699	0,93842064
5	0,5	1,20	1	0,1040853	0,90114843
4	0,7	0,75	1	0,14136265	0,86817441

Расчет вероятности безотказной работы

Город **197**

Артемьевск

Трасса 13-Н

Тн - начальная температура внутреннего воздуха	20
Тк - конечная температура внутреннего воздуха	12

Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент К (учет старения трубопроводов)	0
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	0,5

Рис.4

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс	Сумма отказов по отрезкам	Вероятность безотказной работы
28	0,1	0,35	1	0,00112957	0,99887107
25	0,25	0,55	1	0,00815136	0,99188177
23	0,3	0,05	1	0,00900129	0,9910391
21	0,3	0,5	1	0,01750061	0,98265163
19	0,4	0,73	1	0,03532085	0,96529565
17	0,5	0,05	1	0,03700953	0,96366695
16	0,7	1,15	1	0,09416813	0,91012973
14	0,7	3,36	1	0,26117065	0,77014949
12	0,7	0,25	1	0,27359643	0,76063899
4	0,7	0,75	1	0,31087378	0,73280637

Расчет вероятности безотказной работы

Город **197**

Артемьевск

Трасса 14-Н

Тн - начальная температура внутреннего воздуха	20
Тк - конечная температура внутреннего воздуха	12

Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент K (учет старения трубопроводов)	0
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	0,5

Рис.5

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс	Сумма отказов по отрезкам	Вероятность безотказной работы
37	0,25	0,65	1	0,0083	0,99174
35	0,25	0,1	1	0,00958	0,99047
33	0,5	1,35	1	0,05517	0,94632
31	0,5	0,52	1	0,07273	0,92985
29	0,5	2,5	1	0,157166	0,854562
16	0,7	1,15	1	0,21432438	0,80708654
14	0,7	3,36	1	0,38132689	0,6829546
12	0,7	0,25	1	0,39375268	0,67452086
4	0,7	0,75	1	0,43103002	0,6498394

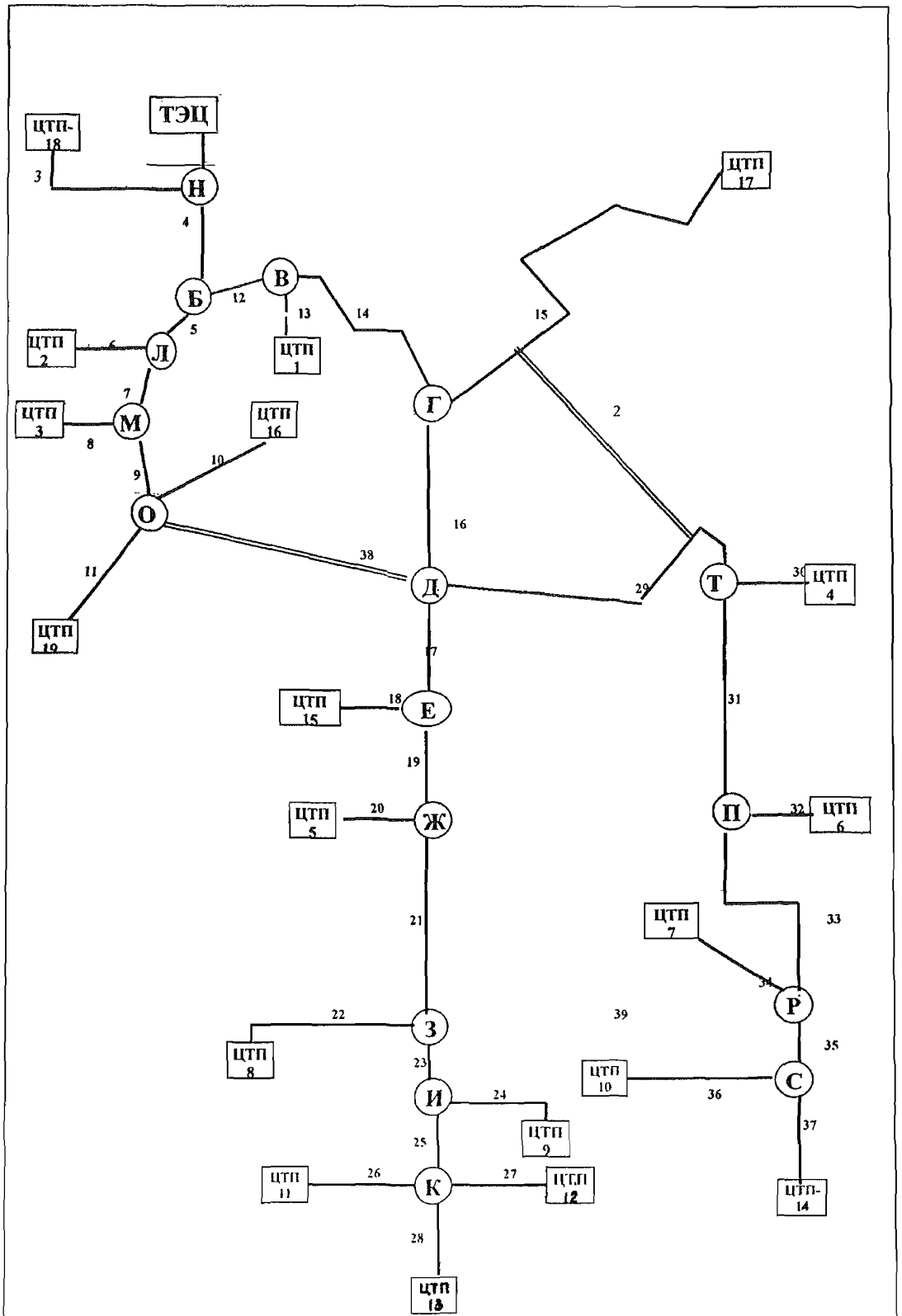


Рис. 6 *Схема рекомендуемых распределительных теплопроводов г.* **АРТЕМЬЕВСКА:**
— резервный теплопровод; ***1 ... 50*** — участки тепловых сетей; Н – насосная;
ТЭЦ — теплоэлектроцентраль; ЦТП – центральные тепловые пункты;

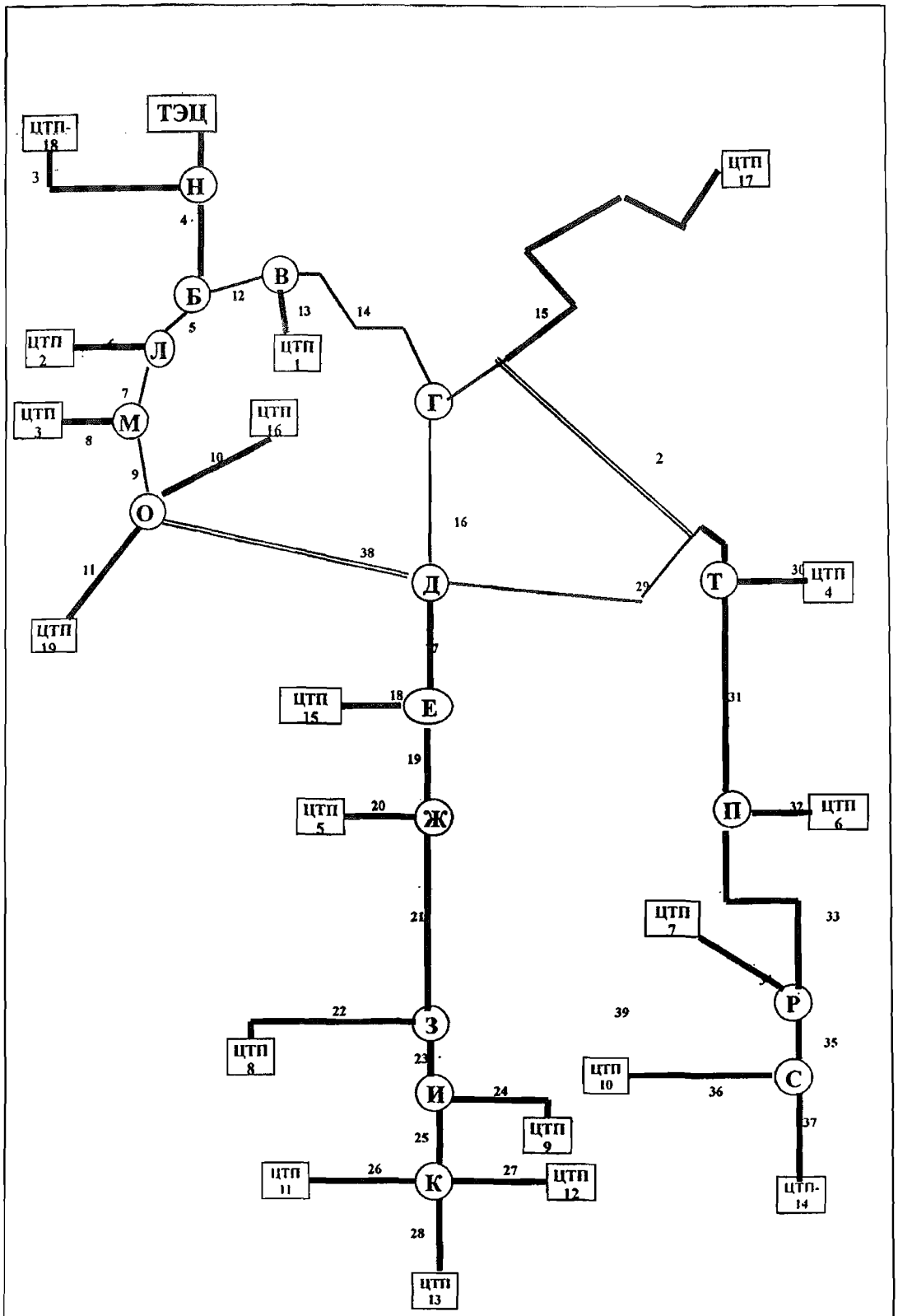


Рис. 7 Схема не резервированных участков распределительных теплопроводов г. АРТЕМЬЕВСКА:

═══ — **резервный теплопровод;** 1 ... 50 — участки тепловых сетей; Н – насосная; ТЭЦ — теплоэлектроцентраль; ЦТП – центральные тепловые пункты;

Расчет вероятности безотказной работы

Город **197** **Трасса 13-Ннерез**

Артемьевск

Тн - начальная температура внутреннего воздуха	20
Тк - конечная температура внутреннего воздуха	12

Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент К (учет старения трубопроводов)	1
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	0,5

Рис.8

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс	Сумма отказов по отрезкам	Вероятность безотказной работы
28	0,1	0,35		0,00112957	0,99887
25	0,25	0,55		0,00815136	0,99188
23	0,3	0,05		0,00900129	0,99104
21	0,3	0,5		0,01750061	0,98265
19	0,4	0,73		0,03532085	0,9653
17	0,5	0,05		0,03700953	0,96367
4	0,7	0,75		0,07428688	0,92841

Расчет вероятности безотказной работы

Город **Артемьевск**

197

Трасса 14-Ннерез

Тн - начальная температура внутреннего воздуха	20
Тк - конечная температура внутреннего воздуха	12

Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент К (учет старения трубопроводов)	1
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	0,5

Рис.9

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс	Сумма отказов по отрезкам	Вероятность безотказной работы
37	0,25	0,65		0,0083	0,99174
35	0,25	0,1		0,00958	0,99047
33	0,5	1,35		0,05517	0,94632
31	0,5	0,52		0,07273	0,92985
29	0,5	2,5		0,157166	0,854562
4	0,7	0,75		0,194443	0,823293

- 45

Расчет вероятности безотказной работы

Город ~~197~~

Артемьевск

Трасса 14-Нβ

Тн - начальная температура внутреннего воздуха	20
Тк - конечная температура внутреннего воздуха	12

Коэффициент утепления здания - β	**46**
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент К (учет старения трубопроводов)	1
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	0,5

Рис.10

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс	Сумма отказов по отрезкам	Вероятность безотказной работы
37	0,25	0,65		0,0054	0,99461
35	0,25	0,1		0,00623	0,99379
33	0,5	1,35		0,04056	0,96025
31	0,5	0,52		0,05378	0,94764
29	0,5	2,5		0,11735	0,88928
4	0,7	0,75		0,14861	0,86191

- 46

Расчет вероятности безотказной работы

Город ~~197~~

Артемьевск

Трасса 14-Н2-я

Тн - начальная температура внутреннего воздуха	20
Тк - конечная температура внутреннего воздуха	12

Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент К (учет старения трубопроводов)	1
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	0,5

Рис.11

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс	Сумма отказов по отрезкам	Вероятность безотказной работы
37	0,25	0,65		0,0083	0,99174
35	0,25	0,1		0,00958	0,99047
33	0,5	1,35		0,05517	0,94632
31	0,5	0,52		0,07273	0,92985
29	0,5	0,5		0,08962	0,91428
4	0,7	0,75		0,1269	0,88083

Расчет вероятности безотказной работы

Город ~~197~~

Артемьевск

Трасса 14-Hd

Тн - начальная температура внутреннего воздуха	20
Тк - конечная температура внутреннего воздуха	12

Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент K (учет старения трубопроводов)	0
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	0,5

Рис.12

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс	Сумма отказов по отрезкам	Вероятность безотказной работы
37	0,25	0,65	1	0,0083	0,99174
35	0,25	0,1	1	0,00958	0,99047
33	0,5	1,35	1	0,05517	0,94632
31	0,5	0,52	1	0,07273	0,92985
29	0,3	2,5	1	0,11523	0,89116
4	0,7	0,75	1	0,15251	0,85855

Расчет вероятности безотказной работы

Город ~~197~~

Артемьевск

Трасса 14-Нτ

Тн - начальная температура внутреннего воздуха	20
Тк - конечная температура внутреннего воздуха	11

Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент К (учет старения трубопроводов)	1
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	0,5

Рис13

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс	Сумма отказов по отрезкам	Вероятность безотказной работы
37	0,25	0,65		0,00541	0,99461
35	0,25	0,1		0,00624	0,99378
33	0,5	1,35		0,04028	0,96052
31	0,5	0,52		0,05339	0,94801
29	0,5	2,5		0,11642	0,8901
4	0,7	0,75		0,14702	0,86328

Расчет вероятности безотказной работы

Город ~~197~~ **Трасса 14-Нстар**

Артемьевск

Тн - начальная температура внутреннего воздуха	20
Тк - конечная температура внутреннего воздуха	12

Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент К (учет старения трубопроводов)	0
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	0,5

Рис.14

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс	Сумма отказов по отрезкам	Вероятность безотказной работы
37	0,25	0,65	1	0,0083	0,99174
35	0,25	0,1	1	0,00958	0,99047
33	0,5	1,35	1	0,05517	0,94632
31	0,5	0,52	1	0,07273	0,92985
29	0,5	2,5	**0,495**	0,11453	0,89179
4	0,7	0,75	1	0,1518	0,85916

Расчет вероятности безотказной работы

Город ~~197~~ **Трасса 14-На-стар**

Артемьевск

Тн - начальная температура внутреннего воздуха	20
Тк - конечная температура внутреннего воздуха	12

Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент К (учет старения трубопроводов)	0
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	0,5

Рис15

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс	Сумма отказов по отрезкам	Вероятность безотказной работы
37	0,25	0,65	**0,77**	0,00639	0,99363
35	0,25	0,1	**0,77**	0,00737	0,99265
33	0,5	1,35	**0,77**	0,04248	0,95841
31	0,5	0,52	**0,77**	0,056	0,94554
29	0,5	2,5	**0,77**	0,12102	0,88602
4	0,7	0,75	**0,77**	0,14972	0,86095

Расчет коэффициента готовности

Город 197 **Артемьевск**

Трасса 19-Н

Расчетная температура внутреннего воздуха - tвн	20
Расчетная температура наружного воздуха - tнар	-26

Коэффициент обеспеченности расчетной мощности сетями и источником - α	0,9
Отклонение температуры внутреннего воздуха - Δtвн	2
Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент Кс (учет старения трубопроводов)	0
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	1,0
Z2 - число часов неготовности источника тепла	50
Z4 - число часов неготовности абонента	10
Температура внутреннего воздуха с учетом отклонения от расчетной	18
Температура наружного воздуха при которой обеспечивается внутр. температура	-23,4
Z1 - дополнительное число часов неготовности при нерасчетном похолодании	131,64
Z3 - число часов неготовности тепловых сетей	15,17

Коэффициент готовности - E	0,9764

Рис.16

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс
11	0,3	0,56	1
9	0,5	0,92	1
7	0,5	0,68	1
5	0,5	1,2	1
4	0,7	0,75	1

Расчет коэффициента готовности

Город 197

Артемьевск

Трасса 19-Нит

Расчетная температура внутреннего воздуха - tвн	20
Расчетная температура наружного воздуха - tнар	-26

Коэффициент обеспеченности расчетной мощности сетями и источником - α	0,956522
Отклонение температуры внутреннего воздуха - Δtвн	2
Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент Кс (учет старения трубопроводов)	0
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	1,0
Z2 - число часов неготовности источника тепла	50
Z4 - число часов неготовности абонента	10
Температура внутреннего воздуха с учетом отклонения от расчетной	18
Температура наружного воздуха при которой обеспечивается внутр. температура	-26
Z1 - дополнительное число часов неготовности при нерасчетном похолодании	69,74
Z3 - число часов неготовности тепловых сетей	15,52

Коэффициент готовности - E	0,9834

Рис.17

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс
11	0,3	0,56	1
9	0,5	0,92	1
7	0,5	0,68	1
5	0,5	1,2	1
4	0,7	0,75	1

Расчет коэффициента готовности

Город 197 **Трасса 19-Hzстар**

Артемьевск

Расчетная температура внутреннего воздуха - tвн	20
Расчетная температура наружного воздуха - tнар	-26

Коэффициент обеспеченности расчетной мощности сетями и источником - α	0,95652174
Отклонение температуры внутреннего воздуха - Δtвн	2
Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент Кс (учет старения трубопроводов)	
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	1,0
Z2 - число часов неготовности источника тепла	50
Z4 - число часов неготовности абонента	10
Температура внутреннего воздуха с учетом отклонения от расчетной	18
Температура наружного воздуха при которой обеспечивается внутр. температура	-26
Z1 - дополнительное число часов неготовности при нерасчетном похолодании	69,74
Z3 - число часов неготовности тепловых сетей	46,56

Коэффициент готовности - E	0,9799

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс
11	0,3	0,56	3
9	0,5	0,92	3
7	0,5	0,68	3
5	0,5	1,2	3
4	0,7	0,75	3

Рис.18

Расчет коэффициента готовности

Город 197

Артемьевск

Трасса 19-Нzит

Расчетная температура внутреннего воздуха - tвн	20
Расчетная температура наружного воздуха - tнар	-26

Коэффициент обеспеченности расчетной мощности сетями и источником - α	0,95652174
Отклонение температуры внутреннего воздуха - Δtвн	2
Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент Кс (учет старения трубопроводов)	0
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	1,0
Z2 - число часов неготовности источника тепла	168
Z4 - число часов неготовности абонента	10
Температура внутреннего воздуха с учетом отклонения от расчетной	18
Температура наружного воздуха при которой обеспечивается внутр. температура	-26
Z1 - дополнительное число часов неготовности при нерасчетном похолодании	69,74
Z3 - число часов неготовности тепловых сетей	15,52

Коэффициент готовности - E	0,9700

Рис.19

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс
11	0,3	0,56	1
9	0,5	0,92	1
7	0,5	0,68	1
5	0,5	1,2	1
4	0,7	0,75	1

Расчет коэффициента готовности

Город 197 **Артемьевск**

Трасса 19-Hzаб

Расчетная температура внутреннего воздуха - tвн	20
Расчетная температура наружного воздуха - tнар	-26

Коэффициент обеспеченности расчетной мощности сетями и источником - α	0,95652174
Отклонение температуры внутреннего воздуха - Δtвн	2
Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент Kc (учет старения трубопроводов)	0
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	1,0
Z2 - число часов неготовности источника тепла	50
Z4 - число часов неготовности абонента	127,5432
Температура внутреннего воздуха с учетом отклонения от расчетной	18
Температура наружного воздуха при которой обеспечивается внутр. температура	-26
Z1 - дополнительное число часов неготовности при нерасчетном похолодании	69,74
Z3 - число часов неготовности тепловых сетей	15,52

Коэффициент готовности - E	0,9700

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Kc
11	0,3	0,56	1
9	0,5	0,92	1
7	0,5	0,68	1
5	0,5	1,2	1
4	0,7	0,75	1

Рис.20

Расчет коэффициента готовности

Город 197 **Артемьевск**

Трасса 14-Н

Расчетная температура внутреннего воздуха - tвн	20
Расчетная температура наружного воздуха - tнар	-26

Коэффициент обеспеченности расчетной мощности сетями и источником - α	0,9
Отклонение температуры внутреннего воздуха - Δtвн	2
Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент Кс (учет старения трубопроводов)	0
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	1,0
Z2 - число часов неготовности источника тепла	50
Z4 - число часов неготовности абонента	10
Температура внутреннего воздуха с учетом отклонения от расчетной	18
Температура наружного воздуха при которой обеспечивается внутр. температура	-23,4
Z1 - дополнительное число часов неготовности при нерасчетном похолодании	131,64
Z3 - число часов неготовности тепловых сетей	13,13

Коэффициент готовности - E	0,9766

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс
37	0,25	0,65	1
35	0,25	0,1	1
33	0,5	1,35	1
31	0,5	0,52	1
29	0,3	0,5	1
4	0,7	0,75	

Рис.22

- 57 -

Расчет коэффициента готовности

Город 197 **Артемьевск**

Трасса 14-Нит

Расчетная температура внутреннего воздуха - tвн	20
Расчетная температура наружного воздуха - tнар	-26

Коэффициент обеспеченности расчетной мощности сетями и источником - α	0,956522
Отклонение температуры внутреннего воздуха - Δtвн	2
Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент Кс (учет старения трубопроводов)	0
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	1,0
Z2 - число часов неготовности источника тепла	50
Z4 - число часов неготовности абонента	10
Температура внутреннего воздуха с учетом отклонения от расчетной	18
Температура наружного воздуха при которой обеспечивается внутр. температура	-26
Z1 - дополнительное число часов неготовности при нерасчетном похолодании	69,74
Z3 - число часов неготовности тепловых сетей	13,44

Коэффициент готовности - E	0,9837

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс
37	0,25	0,65	1
35	0,25	0,1	1
33	0,5	1,35	1
31	0,5	0,52	1
29	0,3	0,5	1
4	0,7	0,75	1

Рис.23

- 58 -

Расчет коэффициента готовности

Город 197 **Артемьевск**

Трасса 13-Н

Расчетная температура внутреннего воздуха - tвн	20
Расчетная температура наружного воздуха - tнар	-26

Коэффициент обеспеченности расчетной мощности сетями и источником - α	0,9
Отклонение температуры внутреннего воздуха - Δtвн	2
Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент Кс (учет старения трубопроводов)	1
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	1,0
Z2 - число часов неготовности источника тепла	50
Z4 - число часов неготовности абонента	10
Температура внутреннего воздуха с учетом отклонения от расчетной	18
Температура наружного воздуха при которой обеспечивается внутр. температура	-23,4
Z1 - дополнительное число часов неготовности при нерасчетном похолодании	131,64
Z3 - число часов неготовности тепловых сетей	8,71

Коэффициент готовности - E	0,9771

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Кс
28	0,1	0,35	
25	0,25	0,55	
23	0,3	0,05	
21	0,3	0,5	
19	0,4	0,73	
17	0,5	0,05	
4	0,7	0,75	

Рис.24

- 59 -

Расчет коэффициента готовности

Город 197 **Артемьевск**

Трасса 13-Нит

Расчетная температура внутреннего воздуха - tвн	20
Расчетная температура наружного воздуха - tнар	-26

Коэффициент обеспеченности расчетной мощности сетями и источником - α	0,956522
Отклонение температуры внутреннего воздуха - Δtвн	2
Коэффициент утепления здания - β	40
Коэффициент - a	0,00003
Коэффициент - b	0,208
Коэффициент Kc (учет старения трубопроводов)	1
Коэффициент интенсификации восстановительных работ - m	1,0
Z2 - число часов неготовности источника тепла	50
Z4 - число часов неготовности абонента	10
Температура внутреннего воздуха с учетом отклонения от расчетной	18
Температура наружного воздуха при которой обеспечивается внутр. температура	-26
Z1 - дополнительное число часов неготовности при нерасчетном похолодании	69,74
Z3 - число часов неготовности тепловых сетей	8,91

Коэффициент готовности - E	0,9842

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	Коэф. старения участка Kc
28	0,1	0,35	
25	0,25	0,55	
23	0,3	0,05	
21	0,3	0,5	
19	0,4	0,73	
17	0,5	0,05	
4	0,7	0,75	

Рис.25

ДИНАМИКА КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЗА 1971 -2000 Г.Г.

Причины отказов	1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2000 – ..	За 30 лет
1	2	3	4	5	6
Коррозия	54	55	70	74	70(69,4)
прочие	46	45	30	26	30
	100%	100%	100%	100%	100%

Рис.26

ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОПРОВОДОВ УЗЕЛ Г — ЦТП-17 (ПОДАЮЩИЙ (справа) и ОБРАТНЫЙ ТЕПЛОПРОВОД)

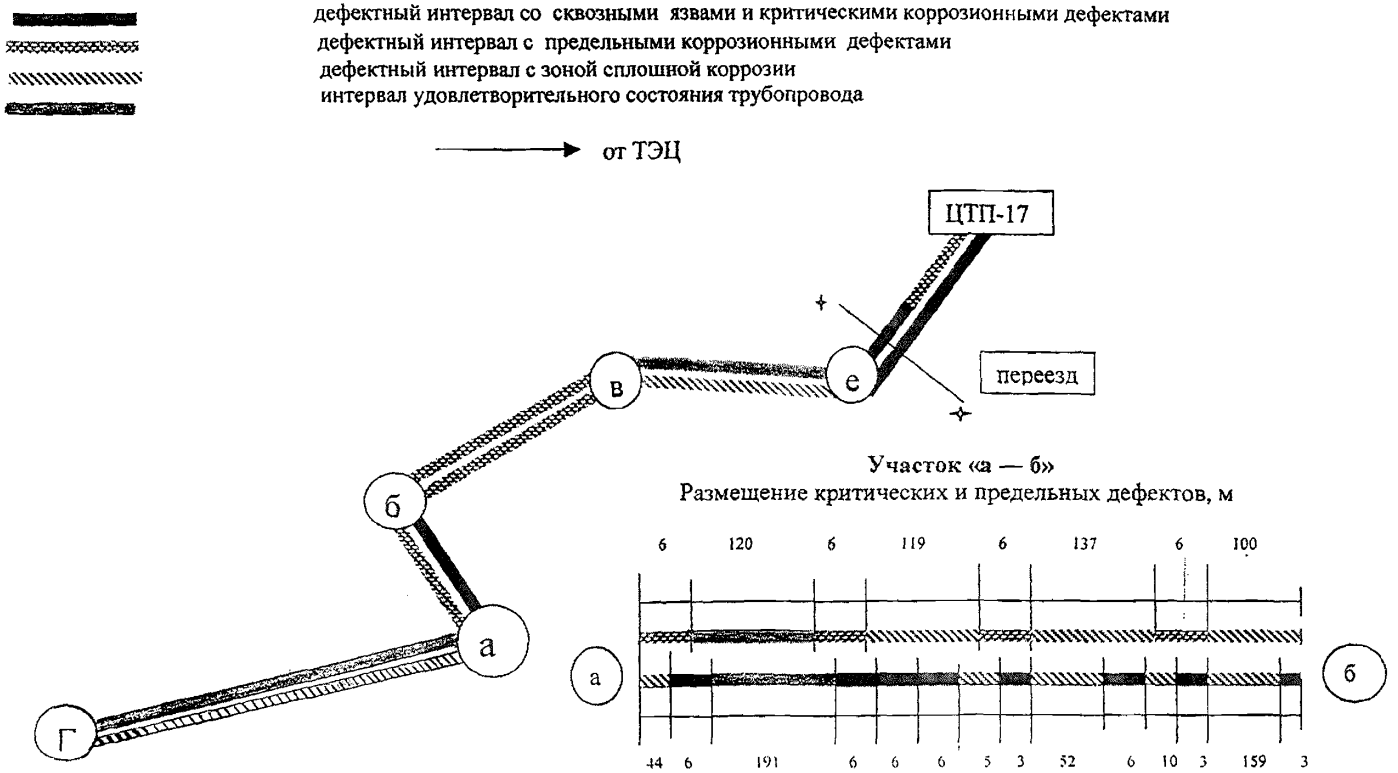


Рис.27

- 62 -

Таблица

РЕЗУЛЬТАТЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Теплопровод узел «Г» - ЦТП-17 (обратный теплопровод)

Характеристика участка	номинальная характеристика трубы			длина участка, м		Характеристика дефектов	Наименьшая фактическая толщина металла трубы		Причины образования дефектов	Примечания
	Диаметр мм	толщина стенки мм	марка стали	от	до		мм	число мест		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Участок 1 от узла Г узла а	426	7	Ст20	узлаГ	630	Состояние удовлетворительное	—	—	—	
Участок 2 от узла а до узла б	426	7	Ст20	узла а	500	Дефектный интервал с предельными корро–зионными дефектами	1,12	86	Подтопление грунтовыми водами	
Участок 3 от узла б до узла в	426	7	Ст20	узла б	500	Дефектный интервал с предельными корро–зионными дефектами	1,1	79	Подтопление канализацион-ными стоками	
Участок 4 от узла в до узла е	426	7	Ст20	узла в	500	Состояние удовлетворительное	—	—	—	
Участок 5 от узла е до ж.д.переезда	**426**	**7**	**Ст20**	**узла е**	**50**	**Дефектный интервал с критическими коррозионными дефектами**	**0,62**	**10**	**Электро-коррозия**	
Участок 6 от ж.д.переезда до ЦТП-17	426	7	Ст20	ж.д. переезда	450	Дефектный интервал с предельными корро–зионными дефектами	1,1	70	Агрессивные стоки в районе трассы	

Рис.28

Таблица

РЕЗУЛЬТАТЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Теплопровод узел «Г» - ЦТП-17 (подающий теплопровод)

Характеристика участка	номинальная характеристика трубы			длина участка, м		Характеристика дефектов	Наименьшая фактическая толщина металла трубы		Причины образования дефектов	Примечания
	Диаметр мм	толщина стенки мм	марка стали	от	до		мм	число мест		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Участок 1 от узла Г узла а	426	7	Ст20	узла Г	630	Дефектный интервал с зоной сплошной коррозии	—	вся зона	Подтопление грунтовыми водами	
Участок 2 от узла а до узла б	426	7	Ст20	узла а	500	Дефектный интервал с предельными корро–зионными дефектами	0,58	86	Подтопление грунтовыми водами	
Участок 3 от узла б до узла в	426	7	Ст20	узла б	500	Дефектный интервал с предельными корро–зионными дефектами	1,1	79	Подтопление канализацион-ными стоками	
Участок 4 от узла в до узла е	426	7	Ст20	узла в	500	Дефектный интервал с зоной сплошной коррозии	—	вся зона	Подтопление грунтовыми водами	
Участок 5 от узла е до ж.д.переезда	**426**	**7**	**Ст20**	**узла е**	**50**	**Дефектный интервал с критическими коррозионными дефектами**	**0,62**	**10**	**Электро-коррозия**	
Участок 6 от ж.д.переезда до ЦПК-17	426	7	Ст20	ж.д. переезда	450	Дефектный интервал с предельными корро–зионными дефектами	1,1	70	Агрессивные стоки в районе трассы	

Рис.29

РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАМЕРОВ ПОТЕНЦИАЛОВ ТРУБ

место замера	потенциал	min	max	анализ
Трасса узел Г — ПК-4 Узел «е»	подающая	-0,21	-0,30	К
	обратная	-0,31	-0,32	К
Трасса узел Г — ПК-4 железнодорожный переезд	подающая	–1,1	-1,11	З
	обратная	–1,1	-1,11	З

К — **потенциал коррозии (значение max –0,85В и более)**

З — **потенциал защиты (значение max менее –0,85В)**

Рис.30

ДИАГНОСТИКА СЦТ

Москва

ТрассаГ-ЦПК17-под

Артемьевск **существующая**

Расчетная температура внутреннего воздуха tвн	20
Расчетная температура наружного воздуха tнар	-26

Коэф. обеспеченности расчетной мощности сетями и источником α	0,96
Отклонение температуры внутреннего воздуха Δtвн	2
Коэффициент утепления здания β	40
Коэффициент a	0,00003
Коэффициент b	0,208
Коэф. интенсификации восст. работ m	1
Скорость корозии мм / год	0,03
Z2 (число часов неготовности источника тепла)	50
Z4 (число часов неготовности абонента)	10
Температура внутреннего воздуха с учетом отклонения от расчетной	18
Температура наружного воздуха при которой обеспечивается вн. температура	-26,16
Zl (дополнительное число часов неготовности при нерасчетном похолодании)	66,76

Z3 число часов неготовности тепловых сетей по критическим дефектам	2153,43
Z3 число часов неготовности тепловых сетей по предельным дефектам	5552,47

E коэффициент готовности по критическим дефектам трубы	0,739704
E коэффициент готовности яо предельным дефектам трубы	0,3516857
E нормативный коэффициент готовности к исправной работеЗ	0,97

Рис.31

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	марка стали	Толщина стенки трубопровода				Количество повреждений		Кол-во поврежд. ωΣ на км в год
				номинал Sном мм	Текущая Sтек мм	Критич Sкр мм	предел Sпр мм	пу кр К	пу пр П	
Г-а	0,4	0,63	20 ▼	7	5	1,154	2,407	3	7	15,8730159
а-б	0,4	0,5	20 ▼	7	0,58	1,154	2,407	86	0	172
б-в	0,4	0,5	20 ▼	7	1,1	1,154	2,407	0	79	158
в-е	0,4	0,5	20 ▼	7	4	1,154	2,407	2	6	16
е-ЖД	0,4	0,05	20 ▼	7	0,62	1,154	2,407	10	0	200
ЖД-ЦТП17	0,4	0,45	20 ▼	7	6	1,154	2,407	1	69	155,555556
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							

Рис.32

Время экспл. Тэкс лет	Срок службы Тсл лет	Коэфф стар. Кс	скорость коррозии Vкор мм/год	Остаток лет эксплуатации		Q Гкал/ч	Ранжир по готовиости		Тип прокладки и изоляции	Стоимость ремонта (прокладки) 2-х труб, тыс.руб			Диаметр условный Dy м	Участки
				Тост кр К	Тост пр П		К	П		Ккр К	Кпр П	Кнов заново		
10	30	0,1724	0,2	19,2	13,0	53	3	4	2	318,6	1062	11151	0,4	Г-а
10	30	0,1724	0,642	-0,9	-2,8	53	1	1	2	9133,2	9133,2	8850	0,4	а-б
10	30	0,1724	0,59	-0,1	-2,2	53	6	2	5	0	5925	6250	0,4	б-в
10	30	0,1724	0,3	9,5	5,3	53	4	6	5	150	600	6250	0,4	в-е
10	30	0,1724	0,638	-0,8	-2,8	53	2	3	2	1062	1062	885	0,4	е-ЖД
10	30	0,1724	0,1	48,5	35,9	53	5	3	2	106,2	7434	7965	0,4	ЖД-ЦТП17
										10770	**25216,2**	**41351**		

Рис.33

ДИАГНОСТИКА СЦТ

Москва

ТрассаГ-ЦПК17-обр

Артемьевск **существующая**

Расчетная температура внутреннего воздуха tвн	20
Расчетная температура наружного воздуха tнар	-26

Коэф. обеспеченности расчетной мощности сетями и источником α	0,96
Отклонение температуры внутреннего воздуха Δtвн	2
Коэффициент утепления здания β	40
Коэффициент a	0,00003
Коэффициент b	0,208
Коэф. интенсификации восст. работ m	1
Скорость корозии мм / год	0,03
Z2 (число часов неготовности источника тепла)	50
Z4 (число часов неготовности абонента)	10
Температура внутреннего воздуха с учетом отклонения от расчетной	18
Температура наружного воздуха при которой обеспечивается вн. температура	-26,16
Zl (дополнительное число часов неготовности при нерасчетном похолодании)	66,76

Z3 число часов неготовности тепловых сетей по критическим дефектам	337,79
Z3 число часов неготовности тепловых сетей по предельным дефектам	2617,89

E коэффициент готовности по критическим дефектам трубы	0,9469684
E коэффициент готовности по предельным дефектам трубы	0,6866828
E нормативный коэффициент готовности к исправной работеЗ	0,97

Рис.34

- 69 -

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	марка стали	Толщина стенки трубопровода				Количество повреждений		Кол-во поврежд. ωΣ на км в год
				номинал Sном мм	Текущая Sтек мм	Критич Sкр мм	предел Sпр мм	nу кр К	nу пр П	
Г-а	0,4	0,63	20 ▼	7	5	1,154	2,407	3	7	15,8730159
а-б	0,4	0,5	20 ▼	7	1,12	1,154	2,407	0	86	172
б-в	0,4	0,5	20 ▼	7	3	1,154	2,407	0	9	18
в-е	0,4	0,5	20 ▼	7	4	1,154	2,407	2	6	16
е-ЖД	0,4	0,05	20 ▼	7	0,62	1,154	2,407	10	0	200
ЖД-ЦТП17	0,4	0,45	20 ▼	7	6	1,154	2,407	1	0	2,22222222
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							

Рис.35

Время экспл. Тэкс лет	Срок службы Тсл лет	Коэфф стар. Кс	скорость коррозии Vкор мм/год	Остаток лет эксплуатации		Q Гкал/ч	Ранжир по готовности		Тип прокладки и изоляции	Стоимость ремонта (прокладки) 2-х труб, тыс.руб			Диаметр условный Dy м	Участки
				Тост кр К	Тост пр П		К	П		Ккр К	Кпр П	Кнов заново		
10	30	0,1724	0,2	19,2	13,0	53	2	2	2	318,6	1062	11151	0,4	Г-а
10	30	0,1724	0,588	-0,1	-2,2	53	5	1	2	0	9133,2	8850	0,4	а-б
10	30	0,1724	0,4	4,6	1,5	53	5	4	5	0	675	6250	0,4	б-в
10	30	0,1724	0,3	9,5	5,3	53	3	5	5	150	600	6250	0,4	в-е
10	30	0,1724	0,638	-0,8	-2,8	53	1	3	2	1062	1062	885	0,4	е-ЖД
10	30	0,1724	0,1	48,5	35,9	53	4	6	2	106,2	106,2	7965	0,4	ЖД-ЦТП17
										1636,8	12638,4	41351		

Рис.36

ДИАГНОСТИКА СЦТ

Москва

ТрассаГ-ЦПК17-под

Артемьевск **рекомендации**

Расчетная температура внутреннего воздуха tвн	20
Расчетная температура наружного воздуха tнар	-26

Коэф. обеспеченности расчетной мощности сетями и источником α	0,96
Отклонение температуры внутреннего воздуха Δtвн	2
Коэффициент утепления здания β	40
Коэффициент a	0,00003
Коэффициент b	0,208
Коэф. интенсификации восст. работ m	1
Скорость корозии мм / год	0,03
Z2 (число часов неготовности источника тепла)	50
Z4 (число часов неготовности абонента)	10
Температура внутреннего воздуха с учетом отклонения от расчетной	18
Температура наружного воздуха при которой обеспечивается вн. температура	-26,16
Zl (дополнительное число часов неготовности при нерасчетном похолодании)	66,76

Z3 число часов неготовности тепловых сетей по критическим дефектам	126,67
Z3 число часов неготовности тепловых сетей по предельным дефектам	1857,86

E коэффициент готовности по критическим дефектам трубы	0,9710689
E коэффициент готовности яо предельным дефектам трубы	0,7734447
E нормативный коэффициент готовности к исправной работеЗ	0,97

Рис.31а

- 72 -

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	марка стали	Толщина стенки трубопровода				Количество повреждений		Кол-во поврежд. ωΣ на км в год
				номинал Sном мм	Текущая Sтек мм	Критич Sкр мм	предел Sпр мм	пу кр К	пу пр П	
Г-а	0,4	0,63	20 ▼	7	5	1,154	2,407	3	7	15,8730159
а-б	0,4	0,5	20 ▼	7	7	1,154	2,407	0	0	0
б-в	0,4	0,5	20 ▼	7	7	1,154	2,407	0	0	0
в-е	0,4	0,5	20 ▼	7	4	1,154	2,407	2	6	16
е-ЖД	0,4	0,05	20 ▼	7	7	1,154	2,407	0	0	0
ЖД-ЦТП17	0,4	0,45	20 ▼	7	6	1,154	2,407	1	69	155,555556
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							

Рис.32а

- 73 -

Время экспл. Тэкс лет	Срок службы Тсл лет	Коэфф стар. Кс	скорость коррозии Vкор мм/год	Остаток лет эксплуатации		Q Гкал/ч	Ранжир по готовиости		Тип прокладки и изоляции	Стоимость ремонта (прокладки) 2-х труб, тыс.руб			Диаметр условный Dy м	Участки
				Тост кр К	Тост пр П		К	П		Ккр К	Кпр П	Кнов заново		
10	30	0,1724	0,2	19,2	13,0	53	1	2	2	318,6	1062	11151	0,4	Г-а
0	30	0,0000	0	вечно	вечно	53	4	4	2	0	0	8850	0,4	а-б
0	30	0,0000	0	вечно	вечно	53	4	4	5	0	0	6250	0,4	б-в
10	30	0,1724	0,3	9,5	5,3	53	2	3	5	150	600	6250	0,4	в-е
0	30	0,0000	0	вечно	вечно	53	4	3	2	0	0	885	0,4	е-ЖД
10	30	0,1724	0,1	48,5	35,9	53	3	1	2	106,2	7434	7965	0,4	ЖД-ЦТП17
										574,8	**9096,0**	**41351**		

Рис.33а

ДИАГНОСТИКА СЦТ

Москва

ТрассаГ-ЦПК17-обр

Артемьевск **рекомендации**

Расчетная температура внутреннего воздуха tвн	20
Расчетная температура наружного воздуха tнар	-26

Коэф. обеспеченности расчетной мощности сетями и источником α	0,96
Отклонение температуры внутреннего воздуха Δtвн	2
Коэффициент утепления здания β	40
Коэффициент a	0,00003
Коэффициент b	0,208
Коэф. интенсификации восст. работ m	1
Скорость корозии мм / год	0,03
Z2 (число часов неготовности источника тепла)	50
Z4 (число часов неготовности абонента)	10
Температура внутреннего воздуха с учетом отклонения от расчетной	18
Температура наружного воздуха при которой обеспечивается вн. температура	-26,16
Zl (дополнительное число часов неготовности при нерасчетном похолодании)	66,76

Z3 число часов неготовности тепловых сетей по критическим дефектам	126,67
Z3 число часов неготовности тепловых сетей по предельным дефектам	591,14

E коэффициент готовности по критическим дефектам трубы	0,971068
E коэффициент готовности яо предельным дефектам трубы	0,918047
E нормативный коэффициент готовности к исправной работеЗ	0,97

Рис.34а

- 75 -

Участки	Диаметр условный Dy м	Длина L км	марка стали	Толщина стенки трубопровода				Количество повреждений		Кол-во поврежд. ωΣ на км в год
				номинал Sном мм	Текущая Sтек мм	Критич Sкр мм	предел Sпр мм	пу кр К	пу пр П	
Г-а	0,4	0,63	20 ▼	7	5	1,154	2,407	3	7	15,8730159
а-б	0,4	0,5	20 ▼	7	7	1,154	2,407	0	0	0
б-в	0,4	0,5	20 ▼	7	3	1,154	2,407	0	9	18
в-е	0,4	0,5	20 ▼	7	4	1,154	2,407	2	6	16
е-ЖД	0,4	0,05	20 ▼	7	7	1,154	2,407	0	0	0
ЖД-ЦТП17	0,4	0,45	20 ▼	7	6	1,154	2,407	1	0	2,22222222
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							
			▼							

Рис.35а

- 76 -

gost.e-ecolog.ru