



Лекции для дистанционного обучения по  
дисциплине:

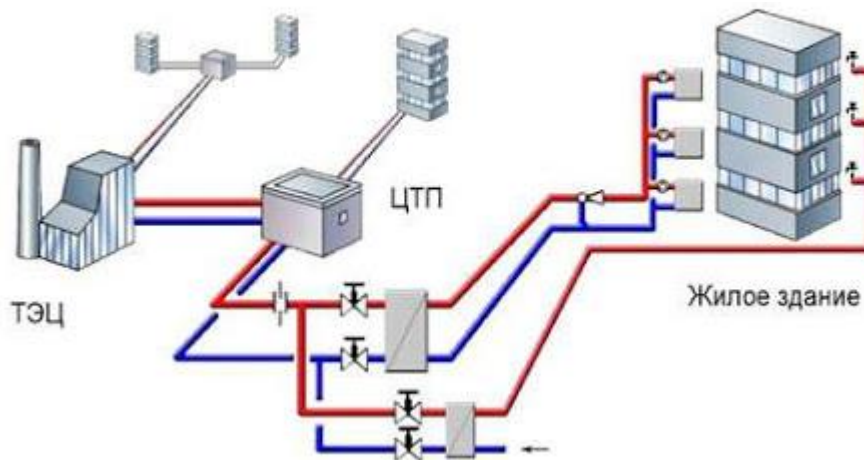
**«Испытания и наладка  
теплоэнергетических установок и  
тепловых сетей»**



## Раздел 1. Основные положения теплотехнических испытаний котельных установок

Испытания и наладка всех звеньев системы теплоснабжения необходимо проводить для достижения целей:

- обеспечение надежного и бесперебойного теплоснабжения;
- повышение надежности, безопасности и экономичности;
- организация эксплуатации в соответствии с действующими нормативно-техническими документами.





### Испытания котельных установок

Приемочные

Контрольно-балансовые

Режимно-наладочные





### I класс ТОЧНОСТИ

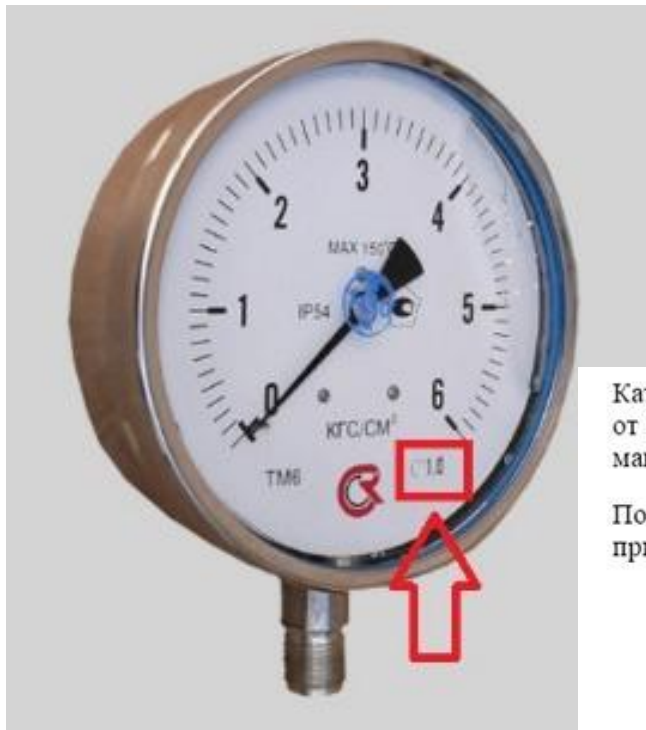
- Испытания, в результате которых достигается определение КПД с точностью до 1,5 %
- Использование средств измерений повышенных классов точности - 0,5 и 1,0
- Обеспечение установившегося теплового состояния котла.

### II класс ТОЧНОСТИ

- Сведение баланса определяют в пределах  $\pm 5\%$ .
- Отклонение характеристик должно быть плавным (не более 2 % /мин) для плавного обеспечения точного измерения контролируемых величин



### Класс точности измерительных приборов:





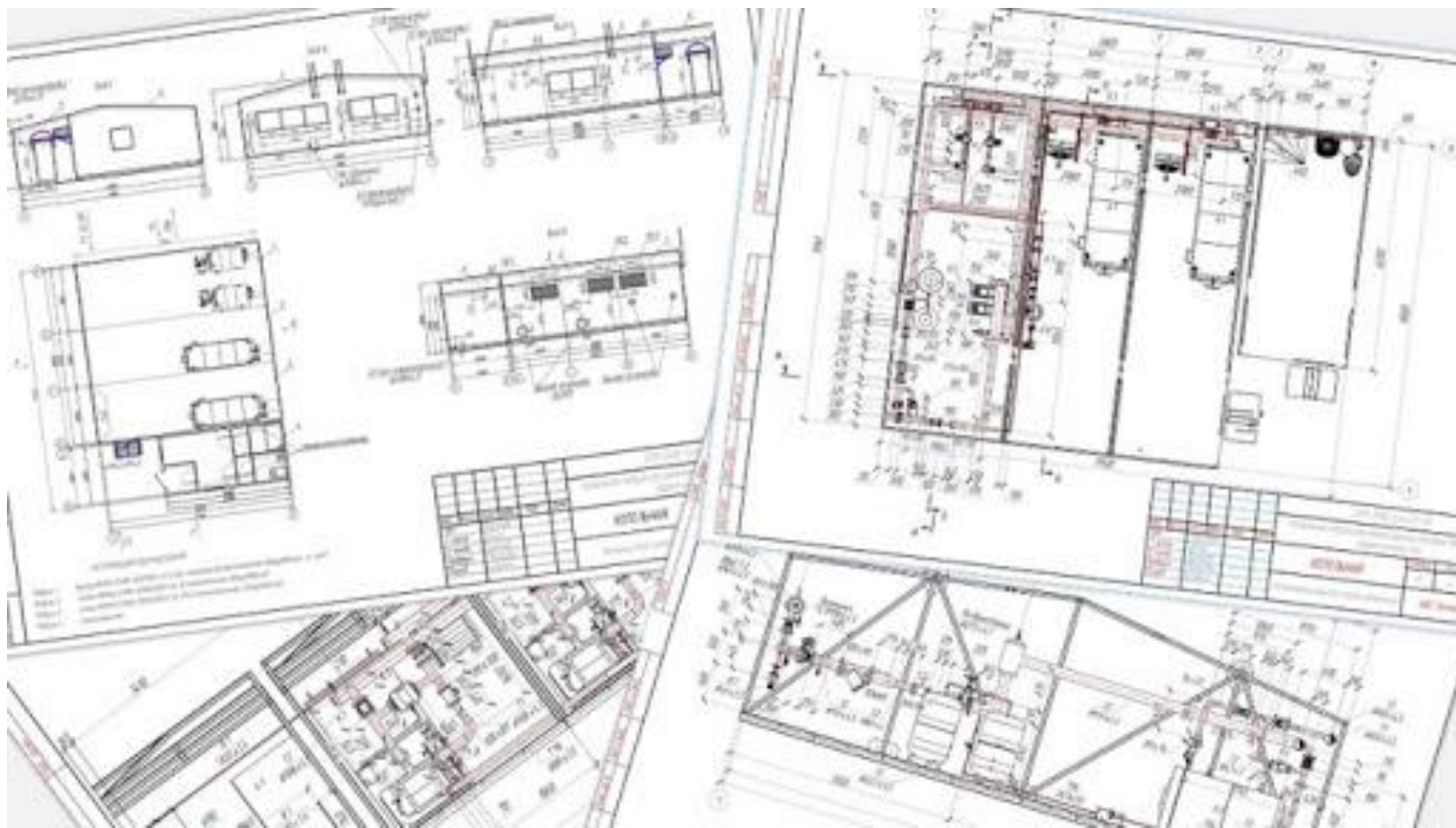
Основными этапами работы по теплотехническим испытаниям котельных установок в промышленных условиях являются:

- ознакомление с работой установки и ее проектными данными;
- составление программы испытаний;
- составление методики испытаний;
- подготовительные работы;
- прикидочные опыты;
- наладочные опыты;
- основные программные опыты;
- обработка результатов измерений;
- обработка данных анализа топлива;
- определение коэффициента избытка воздуха прямым измерением и по результатам анализа продуктов горения;
- обработка данных определения расхода воздуха и объема продуктов горения;
- методика составления теплового баланса котла;
- отчет по испытаниям.



Раздел 2. Разработка документации для проведения теплотехнических испытаний котельных установок

Ознакомление с работой котельной установки





### Составление программы теплотехнических испытаний

**котла:**

Программа - это организационно-методический документ, обязательный к исполнению, устанавливающий объекты, цели испытаний, виды, последовательность и объем проводимых экспериментов, порядок условий, место и сроки проведения испытаний, обеспечение и отчетность по ним, а также ответственность за обеспечение и проведение испытаний.

Согласовано	1	Утверждаю
Главный инженер		Главный инженер
ООО «НПО Монтажспецстрой»		МУП «Благоустройство и развитие»
_____ / Васильев В.В. /		_____ / Трофимов Е.Я. /
«2» октября 2012 г.		«2» октября 2012 г.

**ПРОГРАММА  
теплотехнических испытаний  
водогрейных котлов ПТВМ-30 и ПТВМ-30м**

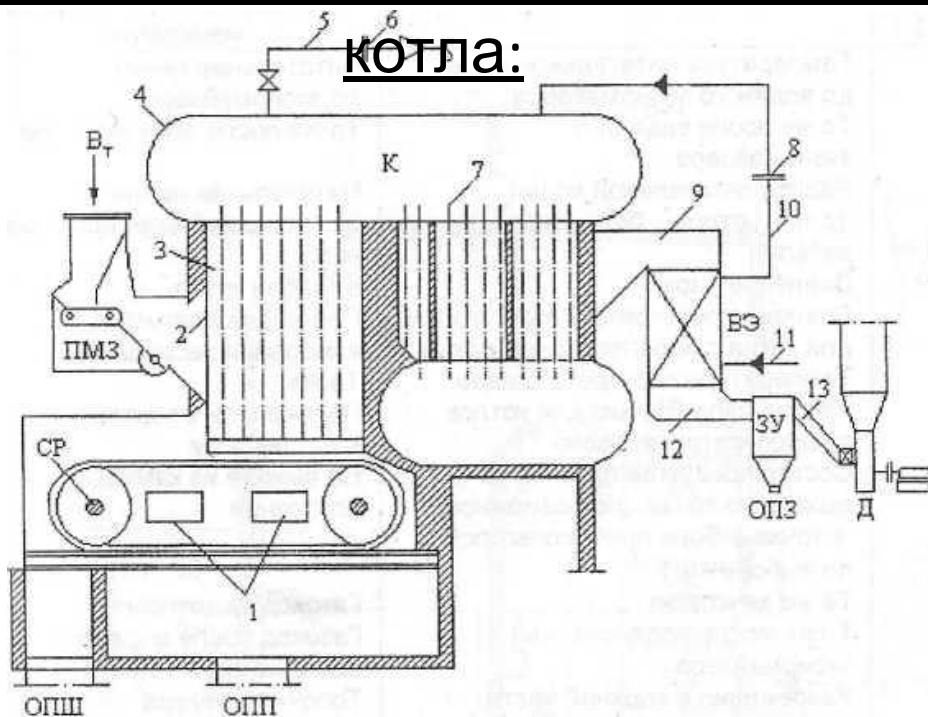
**Объект:** Отопительная котельная №3.  
**Адрес:** Московская область, п. Власиха.  
**Режимно-наладочная организация:** ООО «НПО Монтажспецстрой».

**I. Общие положения.**





### Разработка схемы измерений при теплотехнических испытаниях котла:



Позиция на рис. 2.1	Измеряемая величина	Место установки средства измерения
11	Температура питательной воды до водяного экономайзера	Питательная линия до экономайзера
10	То же после водяного экономайзера	То же после экономайзера
8	Расход питательной воды (для котлов без пароперегревателя)	Питательная линия до экономайзера или последнего
4	Давление пара	Барaban котла
5	Давление перегретого пара (только для котла с пароперегревателем)	Перед диафрагмой для измерения расхода пара
6	Температура перегретого пара	То же
6	Расход пара (только для котлов с пароперегревателем)	Паропровод от котла к коллектору
7	Состав продуктов горения на выходе из топки (по возможности в точке отбора проб в опытах по выбору $\alpha_{opt}$ )	На выходе из камеры догорания
9	То же за котлом	Газоход за котлом
12	То же после водяного экономайзера	Газоход после водяного экономайзера
3	Разрежение в верхней части топочной камеры	Топочная камера
9	Разрежение за котлом	Газоход за котлом
12	То же после водяного экономайзера	Газоход после водяного экономайзера
13	То же перед дымоходом	Газоход после золоуловителя
9	Температура продуктов горения за котлом	Газоход за котлом
12	То же после водяного экономайзера	Газоход после водяного экономайзера
-	Давление воздуха после вентилятора	Воздуховод после вентилятора
1	Давление воздуха по зонам целой решетки	После шибера, регулирующих подачу воздуха
2	Давление воздуха перед соплами пневмозаброса	То же
-	Температура воздуха после вентилятора	Воздуховод после вентилятора
В	Расход топлива	В месте, удобном для взвешивания
-	Отбор пробы топлива	Питатель топлива или транспортер подачи топлива
ОПШ	Отбор пробы шлака	Шлаковый бункер
ОПП	Отбор пробы провала	Зонные коробки
ОПЗ	Отбор пробы уловленной золы	Золоуловитель
СР	Скорость решетки	Вал решетки

Схема измерений при испытании котлов КЕ с цепными решетками и пневматическими разбрасывателями: ПМЗ - пневмомеханический забрасыватель; К- котельный агрегат; ВЭ-водяной экономайзер; ЗУ- золоуловитель; Д- дымоход



# Испытания и наладка теплоэнергетических установок и

## Раздел 2. Разработка документации для проведения теплотехнических испытаний котельных установок

ФЭВО

Позиция на рис. 2.1	Измеряемая величина	Место установки средства измерения
11	Температура питательной воды до водяного экономайзера	Питательная линия до экономайзера
10	То же после водяного экономайзера	То же после экономайзера
8	Расход питательной воды (для котлов без пароперегревателя)	Питательная линия до экономайзера или после него
4	Давление пара	Барабан котла
5	Давление перегретого пара (только для котла с пароперегревателем)	Перед диафрагмой для измерения расхода пара
5	Температура перегретого пара	То же
6	Расход пара (только для котлов с пароперегревателем)	Паропровод от котла к коллектору



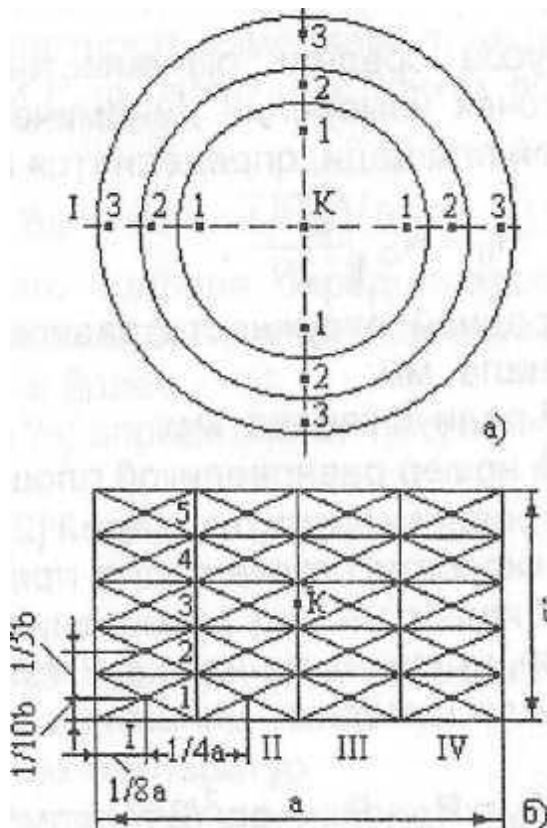
### Измерение расходов:

- расходомерами с сужающими устройствами;
- мерными баками;
- объемными счетчиками;
- ультразвуковые;
- дифференциальные тягонапоромеры;
- микроманометры





### Измерение расходов



Разбивка сечения трубопровода на равновеликие площади:

а) круглое сечение; б - прямоугольное сечение; К - контрольная точка



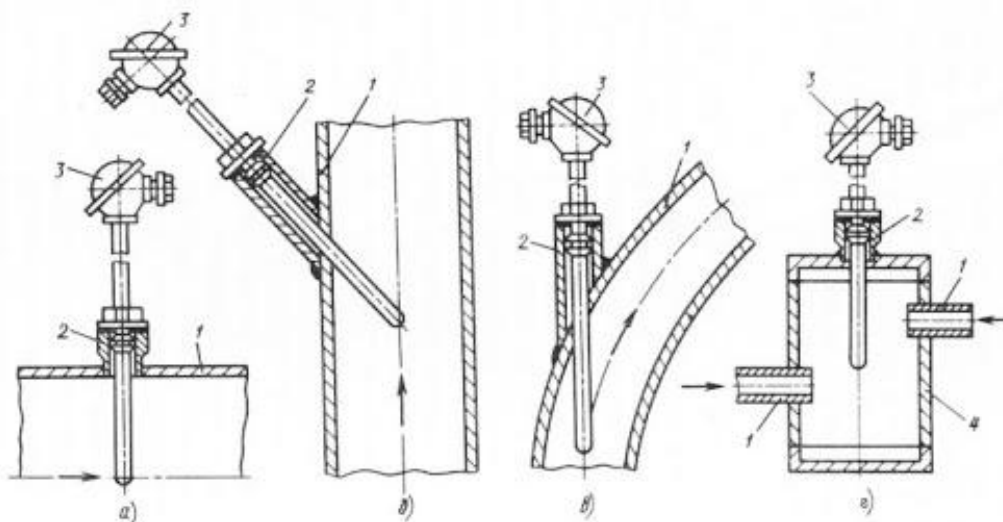
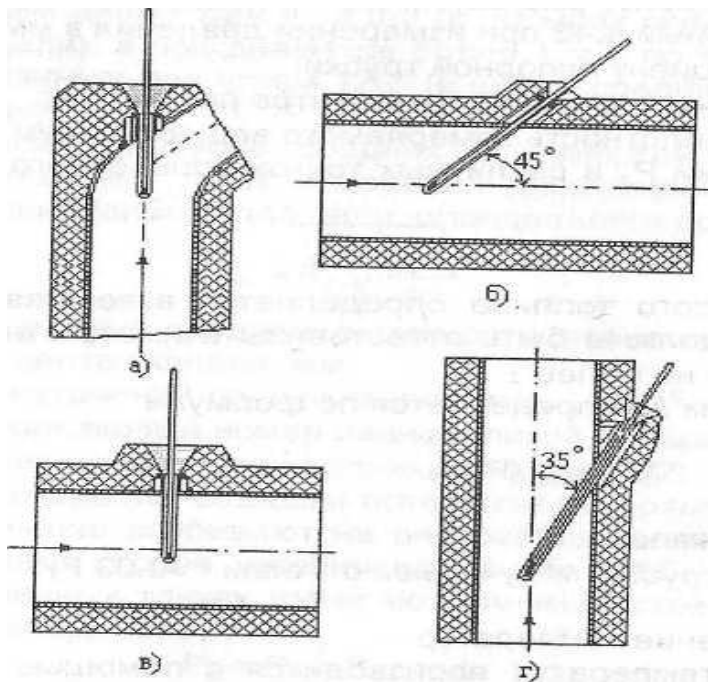
### Измерение температур

- жидкостные термометры;
- термопреобразователи сопротивления;
- термоэлектрические преобразователи.





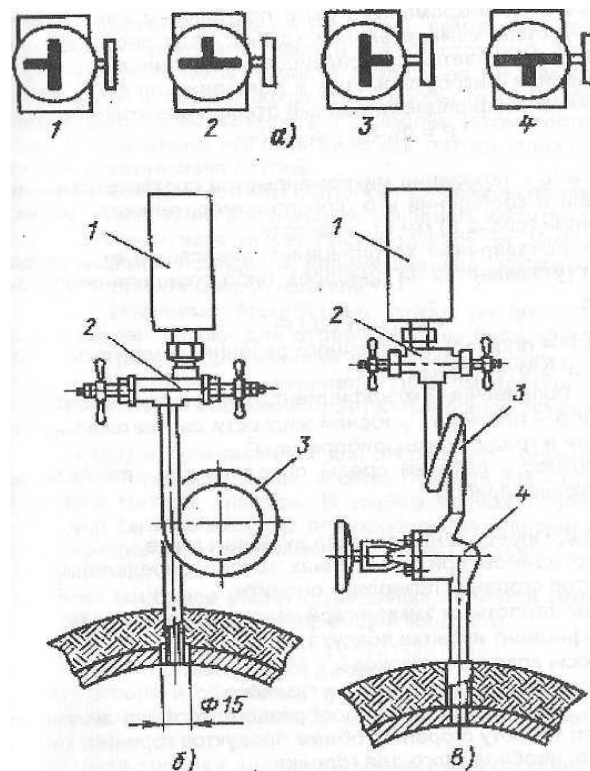
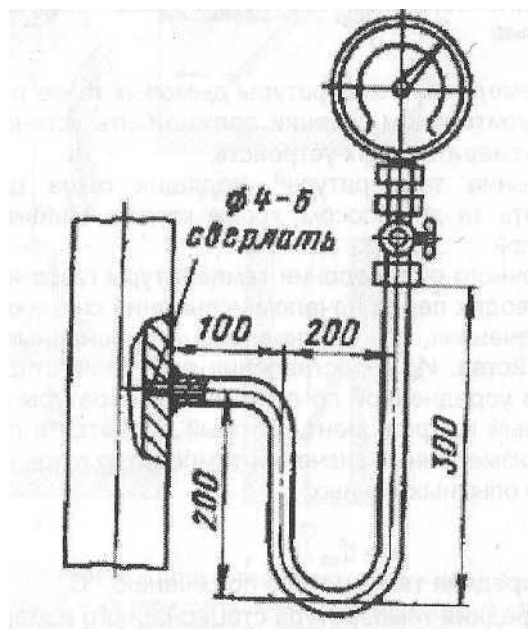
### Измерение температур





### Измерение давления и разрежения:

- пружинные манометры;
- тягонапорометры;
- микроманометры.





### Определение состава дымовых газов :

- газоанализаторы

Проводимое при испытаниях котлов определение состава продуктов сгорания позволяет оценить:

- потери теплоты от химической неполноты горения  $q_3$ ;
- коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ ;
- присосы воздуха в газоходы;
- потери теплоты с уходящими газами  $q_2$ .







### Составление плана - задания для подготовки котельного агрегата к теплотехническим испытаниям

План-задание для подготовки КА к теплотехническим испытаниям

Наименование работ	Условия исполнения	Ответственный исполнитель	Срок исполнения
1. Изготовить штуцера с крышками для газоотборных трубок	Согласно при- казу	Иванов В.И.	ч, мес. год
2. Изготовить штуцера по месту и т.д.	Согласно схе- ме измерений	Иванов В.И.	ч, мес. год

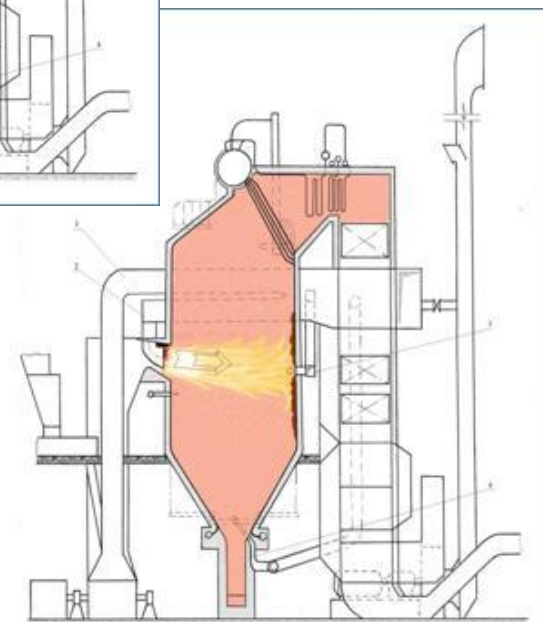
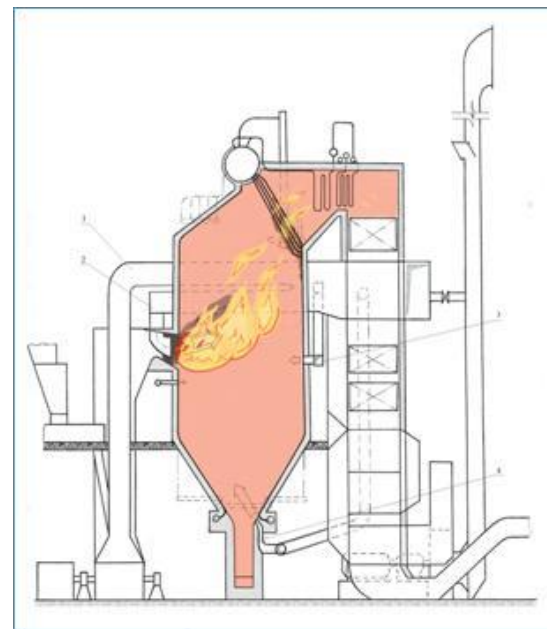
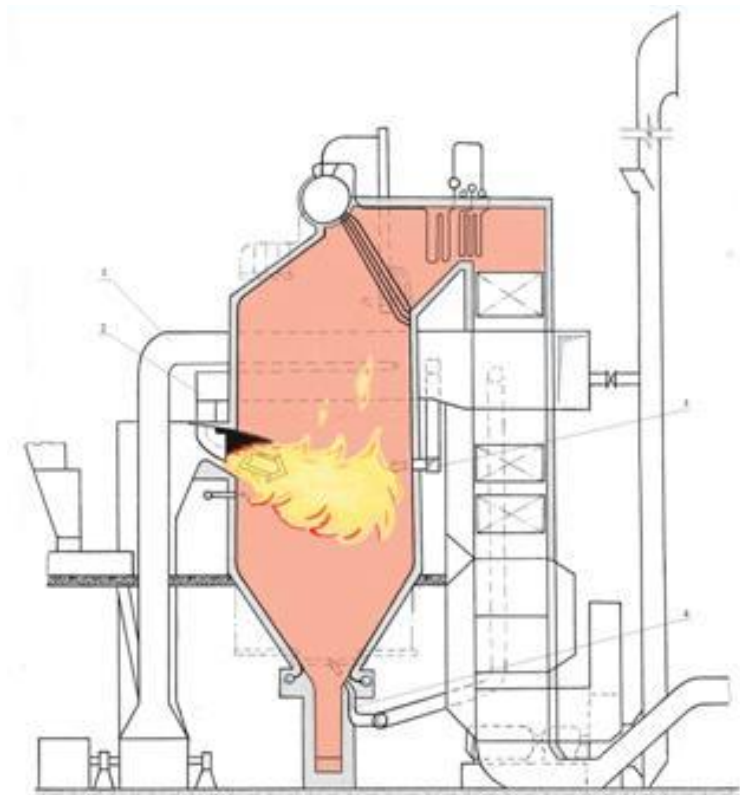


### Раздел 3. Проведение подготовительных работ и испытаний котельного агрегата

- Готовность котла и его элементов должна быть проверен перед проведением испытаний.
- Газоплотность топки и газоходов котла, работающего уравновешенной тягой, должна соответствовать расчетной
- На пылеугольных и мазутных котлах за 1 час до начала испытаний должна быть проведена очистка поверхностей нагрева всеми оснащенными средствами очистки (обдувка экранов и пароперегревателей, очистка регенеративного воздухоподогревателя, дробеструйная очистка поверхностей нагрева конвективных шахт).
- На пылеугольных котлах с твердым шлакоудалением за 1 час до начала испытаний должен быть удален шлак. При определении количества шлака, накопленного за время опыта, необходимо учесть шлак, скопившийся за этот час.
- Вентили непрерывной продувки должны быть закрыты, если это допускается водно-химическим режимом котла.



### Определение оптимального положения факела в топке



Правильное положение факела котла БКЗ-75-39 ФБ с нижним дутьём

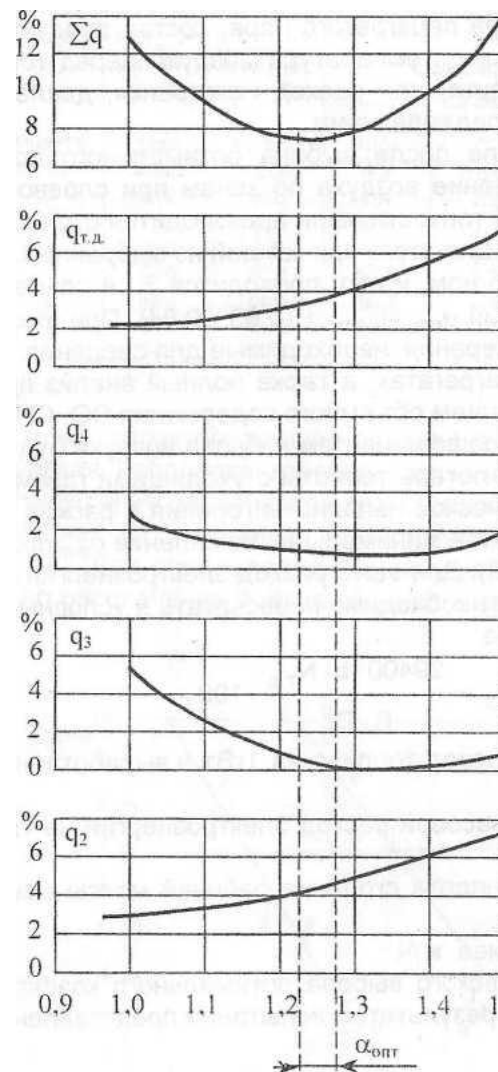


### Определение оптимального коэффициента избытка воздуха ( $\alpha_{\text{опт}}$ )

Коэффициент избытка воздуха - это отношение действительного расхода воздуха к теоретически необходимому для горения:

$$\alpha_{\text{опт}} = V_{\text{д}} / V_{\text{о,т}}$$

Графический выбор оптимального коэффициента воздуха





### Определение потерь теплоты и экономических показателей

Балансовые (котельные) работы (испытания) – наиболее ответственные, т.к. по их результатам рассчитываются экономические показатели работы котла: КПД и удельный расход топлива.

При проведении рассматриваемой серии опытов измеряют:

1. Производительность котла.
2. Параметры пара (горячей воды).
3. Давление и температуру питательной воды до и после экономайзера (температуру воды на входе в котел).
4. Продувку.
5. Расход топлива.
6. Давление топлива (жидкое, газообразное) перед горелками.
7. Температура и давление топлива (газовое) перед диафрагмой (счетчиком).
8. Температуру холодного и горячего воздуха.
9. Разрежение вверху топки, за котлом, за экономайзером, за ВЗП, перед дымососом.
10. Температуру продуктов сгорания за котлом, за экономайзером, за ВЗП, перед дымососом.
11. Состав продуктов сгорания в наладочной ( за котлом или ПП ) и балансовой точках ( за экономайзером или за ВЗП).
12. Нагрузку электродвигателей дымососа, дутьевого вентилятора.

По полученным данным подсчитывают потери теплоты и экономические показатели работы котла



## Раздел 4. Методика теплотехнических расчетов при испытаниях котельного агрегата

Методика – система, включающая алгоритмы выполнения операций по определению одной или нескольких взаимосвязанных характеристик свойств объекта, формы представления данных и оценивания точности, достоверности результатов.





### Обработка данных анализа топлива и продуктов сгорания

Все теплотехнические расчеты производятся по рабочей массе для твердого и жидкого топлива, устанавливаемой техническим или элементарным анализом проб сжигаемого топлива



АККРЕДИТОВАННЫЙ  
ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
ИНИИХимия ННГУ им. Н.И. Лобачевского

г. Нижний Новгород пр. Гагарина, 21, корп. 5,  
ГСП-43, 603950  
Тел. (8312) 462-35-39

**ПРОТОКОЛ**  
Химического анализа пробы печного топлива № 1  
(от переработки шни)  
от 07.04.2015 г.

1. Заказчик: ООО ГК «Оскар».
2. Проба отобрана и доставлена заказчиком.
3. Характеристика и обозначение пробы: топливо темно-коричневого цвета с резким запахом в стеклянной таре;
4. Дата проведения анализа: 30.03-07.04.2015 г.
5. Результаты анализа:

Таблица

Результаты анализа

Определяемый компонент	Результат определения	Метод анализа или методика
Фракционный состав: - Температура начала перегонки, °С	92	ГОСТ 2177-99
- 10 % перегоняется при температуре, °С	132	
- при 360°С перегоняется, %	84	
- неперегоняемый остаток, %	16	
Содержание воды, %	< 0,5	ГОСТ 2477-65
Содержание механических примесей, %	1,0 ± 0,1	ГОСТ 6370-83
Плотность при 20°С, г/см <sup>3</sup>	0,877	ГОСТ 3900-85
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	54 ± 2	ГОСТ 6356-75
Вязкость кинематическая при 20°С, мм <sup>2</sup> /с	0,876	
Зольность, %	0,01 ± 0,005	ГОСТ 1461-75
Кислотность, мг КОН/100 г	50 ± 17	ГОСТ 5985-79

Данные протокола распространяются на пробу, подвергнутую испытаниям (исмерениям).  
Перепечатка или копирование данного протокола без разрешения ИАЦ запрещены.



### Обработка данных анализа топлива и продуктов сгорания

По характеристикам топлива рассчитывают низшую теплоту сгорания, расход воздуха и дымовых газов.

Низшая теплота сгорания для твердого и жидкого топлива, кДж/кг,

$$Q_H^P = 339 \cdot [C^P + 1030H^P - 108,9 \cdot (O^P - S_{ор+к}^P) - 226,2H^P - 25,1 \cdot W^P],$$

где  $C^P, H^P, O^P, S_{ор+к}^P, W^P$  – элементы состава топлива

Низшая теплота сгорания для газообразного топлива, кДж/кг,

$$Q_H^C = 0,01 \cdot [Q_{CO} CO^{ТЛ} + Q_{H_2} H_2^{ТЛ} + Q_{H_2S} H_2S^{ТЛ} + \sum Q_{C_nH_m} (C_nH_m)^{ТЛ}],$$

где  $Q_{CO}, Q_{H_2}, Q_{H_2S}, Q_{C_nH_m}$  принимаются по табл.

Таблица Низшая теплота сгорания компонентов, уходящих в газообразное топливо

Газ	Водород H <sub>2</sub>	Окись углерода CO	Серо-водород H <sub>2</sub> S	Метан CH <sub>4</sub>	Этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> и более тяжелые
Низшая теплота сгорания, кДж/м <sup>3</sup>	10798	12636	23383	35818	63748	91251	118646	109005





### Обработка данных определения расхода воздуха и объема продуктов горения

$$V_o^c = 0,0476 [0,5 CO_2^{ТЛ} + 0,5 H_2^{ТЛ} + 1,54 H_2 S_{ТЛ} + 2 CH_4^{ТЛ} + \sum (n + m/4) C_n H_m^{ТЛ} - O_2^{ТЛ}]$$

$$V_c^o = \frac{V_o^c}{(1 + d_{ГТЛ} / 80,4)}$$

$$V_{H_2O}^c = 0,01 [H_2 S^{ТЛ} + H_2^{ТЛ} + \sum (n/2 C_n H_m + 0,124 d_{ГТЛ}) + 0,0161 V_o^c]$$

$$V_{N_2}^o = 0,79 \cdot V_o^c + \frac{N_2^{ТЛ}}{100}$$

$$V_{RO_2} = 0,01 [CO_2^{ТЛ} + CO^{ТЛ} + H_2 S^{ТЛ} + \sum (n/2 (C_n H_m^{ТЛ}))]$$

$$V_{HO_2} = V_{HO_2}^o + 0,0161 (\alpha_T - 1) V_o^c$$

$$V_r = V_{RO_2} + V_{N_2}^o + V_{HO_2} + (\alpha_T - 1) V_o^c$$

$$G_r = \rho_{ГТЛ}^c + d_{ГТЛ} / 1000 + 1,306 \alpha_T V_o^c$$



### Тепловой баланс котла

- Стандартные методы составления теплового баланса:

Прямой метод определения КПД котла (кДж/кг или кДж/м<sup>3</sup>)

$$Q_{Pp}^P = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

Или в процентах:  $100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$

$$\eta_{ку}^{бр} = q_1 = (Q_1 / Q_{Pp}^P) 100$$

Обратный метод определения КПД котла

$$Q_1 = Q_{Pp}^P - (Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6);$$

$$\eta_{ку}^{бр} = q_1 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6).$$



### Тепловой баланс

Составление теплового баланса котельного агрегата по методике М.Б. Равича:

При использовании метода М.Б. Равича может быть достигнута значительная экономия труда и времени, особенно при сжигании газа и мазута. Он основан на обобщенных характеристиках, испытывающих значительно меньшие колебания при изменении элементарного состава горючей массы топлива, его зольности и

### Технические характеристики топлива

Вид топлива	$Q^p_{н,}$ кДж/кг	$W^p,$ %	$A^p,$ %	$t_{max},$ °C	$A,$ кДж/м <sup>3</sup>	$RO_2^{max},$ % об	$\bar{B}$
Природ. газ	8500			2040	4170	11,68	0,80
Мазут	9500			2130	4061	16,5	0,88
Газ Кузнецкого месторождения	6400	8	10	2110	3886	19	0,90



## Погрешность определения КПД котельной установки

Рассчитываются погрешности определенных показателей и характеристик котла, полученных путем косвенных измерений.

Погрешность  $\Delta_z$  косвенного измерения рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta_z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x} \Delta_x\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \Delta_y\right)^2}$$

где  $\frac{\partial z}{\partial x}, \dots, \frac{\partial z}{\partial y}$  – частные производные функциональной зависимости  $z = f(x, \dots, y)$

$\Delta_x, \dots, \Delta_y$  погрешности (среднеквадратические) прямых измерений параметров  $x, \dots, y$



## Раздел 5. Отчет по испытаниям котельной установки

- 1. Аннотация.* Краткое содержание работы и ее назначение.
- 2. Введение.* Описывается объект испытания и цели, которые поставлены перед ее исполнителями.
- 3. Краткая характеристика оборудования.* Описание котла и его оборудования и их основные параметры (техническая характеристика). Описание иллюстрируется общим видом котла. Приводится краткая характеристика работы котла до испытаний по данным эксплуатации. При выполнении испытаний на действующем оборудовании указывают год ввода объекта и оборудования в эксплуатацию или количество проработанных часов.
- 4. Методика измерений.* Дается краткое описание примененных способов измерений, методов определения состава газов, отбора проб топлива и т. д. Приводится схема котельной установки с указанием основных точек измерений, сводная таблица средств измерения, тарировка сечений, а также погрешности измерений и метод их расчета.





*5. Программа проведения испытаний.* В ней указывается цель и объем работы, категория испытаний, условия проведения испытаний, число и продолжительность опытов, методика составления теплового баланса, организационные мероприятия, в которых указывается, что было выполнено по плану- заданию для подготовки котла к проведению испытаний.

*6. Результаты испытаний и их анализ.* Должны быть проанализированы фактически полученные в опыте данные под углом зрения задач испытателей. В разделе должны быть составлены графики изменения основных параметров работы котла от тех или иных факторов: зависимость КПД брутто котла от его производительности, зависимость изменения отдельных и суммарных тепловых потерь, избытка воздуха, сопротивлений газового и воздушного трактов, расхода электроэнергии на тягу, дутье от производительности котла.

*7. Указание по ведению режима.*

*8. Выводы и предложения.* Рассматривают результаты испытаний: достигнутую экономичность и значения отдельных тепловых потерь, удельные расходы электроэнергии на тягу и дутье, оптимальные коэффициенты избытка воздуха, оптимальную по экономичности нагрузку котла. Дают оценку надежности котла, удобства управления и обслуживания, вносятся предложения по улучшению работы котла.

*9. Приложения.* Спецификация средств измерений; таблица результатов испытаний котла; режимная карта.

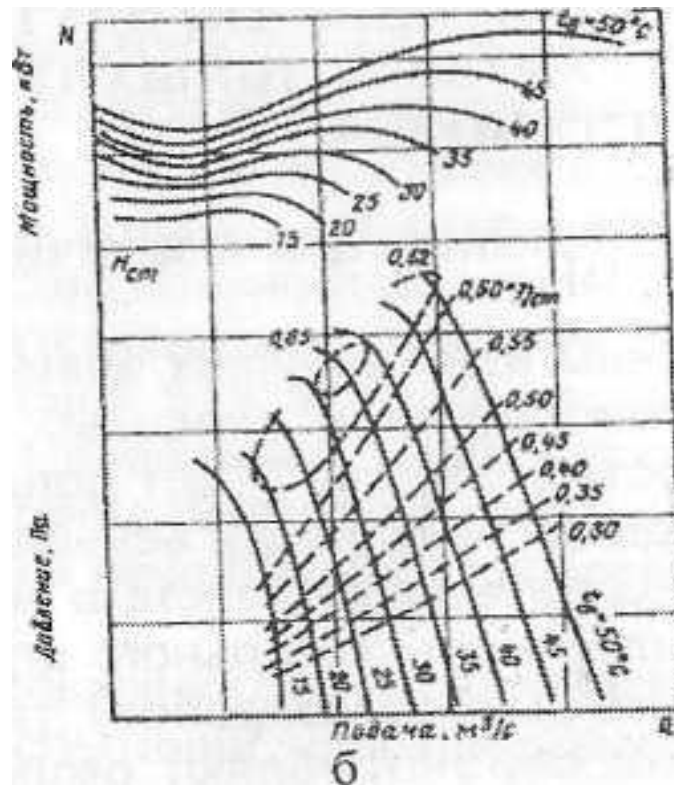
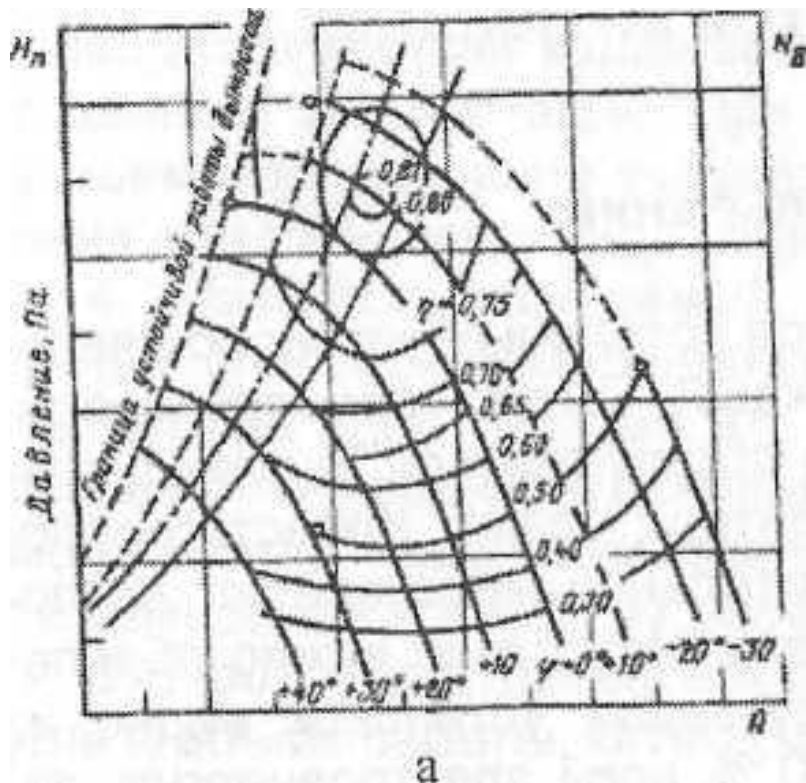


## Раздел 6. Испытания тягодутьевых машин и газоздушных трактов котельных установок

Одним из важнейших элементов котельных установок являются тягодутьевые машины. Каждый котел теплопроизводительностью свыше 1 МВт должен оборудоваться индивидуальными дымососами и дутьевыми

в





Характеристики осевых тягодутьевых машин:

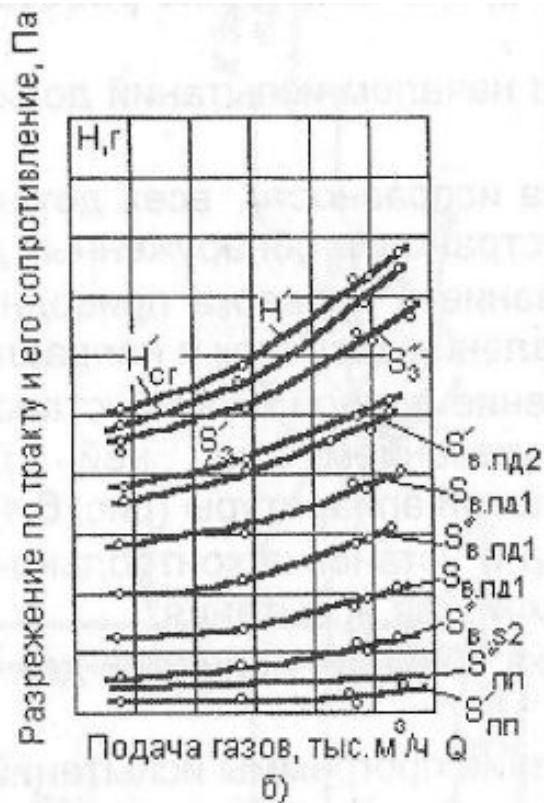
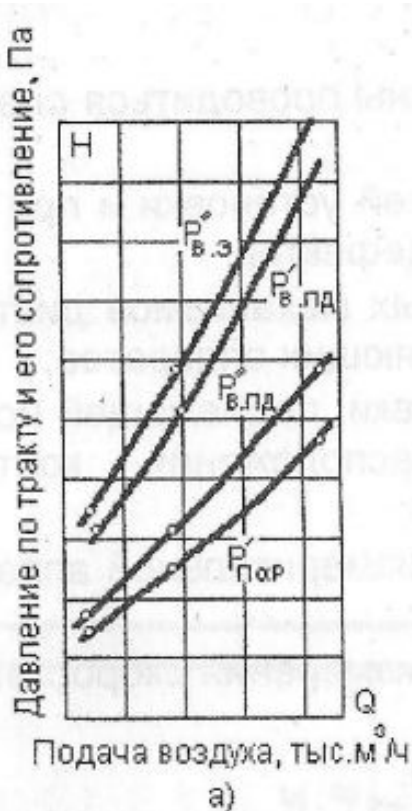
а - дымосос; б - дутьевой вентилятор



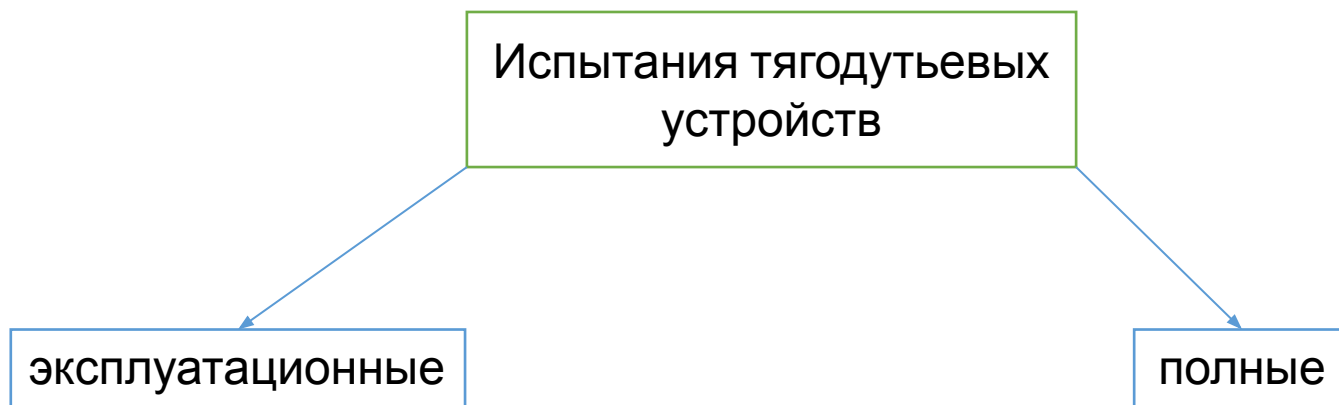


Задачами испытаний являются:

- снятие характеристик дымососов (дутьевых вентиляторов);
- снятие характеристик газового и воздушного трактов; проверка соответствия полученных и паспортных данных;
- выявление причин отклонения полученных данных от расчетных;
- разработка предложений по улучшению работы тягодутьевых установок.



Характеристики газоз воздушных трактов котла: а - воздушного тракта; б - газового тракта; индексы “пп”, “вэ”, “впд” и “зу” - соответственно пароперегреватель, водяной экономайзер, воздушный подогреватель и золоуловитель



Проводятся для выявления соответствия установленных тягодутьевых устройств потребности котлоагрегата в тяге и дутье и для определения удельных расходов электроэнергии на одну тонну вырабатываемого пара или на один МВт теплоты.

Испытания наиболее точно могут быть выполнены на специальном стенде



### **Подготовительные работы**

Перед началом испытаний должны проводиться следующие работы:

- проверка исправности всех деталей установки и при необходимости устранение обнаруженных дефектов;
- опробование и проверка приводных механизмов дистанционного управления заслонок и направляющих аппаратов;
- составление полной схемы установки, подлежащей испытаниям, с указанием на ней расположения контрольно-измерительной аппаратуры;
- проверка и установка контрольно-измерительной аппаратуры, необходимой для испытания;
- тарировка сечений, принятых для измерения скоростей среды;
- составление программы испытаний.



## **Измерения при испытаниях тягодутьевых установок и газоздушных трактов**

К основным измерениям при испытаниях тягодутьевых машин газоздушных трактов относятся:

- расход продуктов сгорания и воздуха;
- статическое давление;
- мощность, потребляемая от сети электродвигателями дымососа и вентилятора.

Для испытаний тягодутьевых установок и газоздушных трактов используют следующие приборы:

- пневмометрические трубки, U-образные водяные манометры, барометры;
- термометры жидкостные, термопреобразователи сопротивления (ТС), термоэлектрические преобразователи (ПТ);
- психрометры;
- газоанализаторы ГХП и трубки на СО;
- тахометр;
- хронометр;
- ваттметры класса 0,5, амперметры и вольтметры класса 0,5.



Таблица 6.1. Основные измерения и определения при испытаниях тягодутьевых машин

При полных испытаниях	При эксплуатационных испытаниях на работающем котле	Обозначение	Способ измерения и СИ
Разрежение во всасывающем патрубке вентилятора (дымососа) до направляющего аппарата, Па (кг/м <sup>2</sup> )	Давление в нагнетательном патрубке вентилятора (дымососа), Па (кг/м <sup>2</sup> )	$S'_в$	Жидкостные U-образные и наклонные манометры
Атмосферное давление, кПа	Температура среды до и после машины, °С	$p''_в$	То же
Температура и влажность воздуха в котельной, °С	Температура среды до и после машины, °С	$B$	Барометр анероид или ртутный
	Температура и влажность воздуха в котельной, °С	$t_м$	ПТ и ТС, ртутные термометры
		$t_{х.в.}, \varphi_{х.в.}$	Психрометры, ртутные термометры или ТС с вторичным преобразователем
-	Свежий пар и пар промперегрева:	$D_{пн}, D_{вт.п}$	Стационарные паромеры котла
-	расход, кг/с (кг/ч)	$p_{пн}, p_{вт.п}$	Пружинные манометры МТИ (класса точности 0,6 и 1,0)
-	давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	$t''_{пн}, t''_{вт.в}, t''_{вт.п}$	ПТ с вторичным преобразователем
-	температура, °С	$t''_{п.в}$	ТС с вторичным преобразователем
-	температура питательной воды, °С	$U''_{плд}$	ТС и ПТ с вторичным преобразователем
-	температура газов за воздухоподогревателем, °С	$t_{в.рц}$	То же
-	температура рециркулирующего воздуха, °С	$t''_{в.рц}$	То же
-	температура воздуха после вентилятора, °С		
Подача перемещаемой среды, м <sup>3</sup> /ч		$V$	Напорные трубки или СУ с дифманометром
Частота вращения ротора машины, мин <sup>-1</sup>		$n$	Ручной счетчик оборотов, тахоскоп или переносный тахометр (часовой, центробежный)
Мощность на зажимах, подводимая к электродвигателю вентилятора, кВт		$N_{эл}$	По схеме 2-3 ваттметров с приборами класса точности 0,2 или 0,5
-	Состав уходящих газов у дымососа или после золоуловителя, %	$RO_2, O_2, CO,$ $CH_4, H_2$	Газоанализаторы
-	Отбор проб топлива и очаговых остатков на анализ		Совки, лопаты, баки, трубки Альнера или ВТИ с циклонами, эжектор
-	Технический состав топлива, %, кДж/кг	$W'_t, A', V^{daf}_c$	изводящей испытания



## Порядок проведения испытаний тягодутьевых машин

- на остановленном котле закрывают все заслонки, пускают в работу вентилятор (дымосос) и проводят все измерения при режиме минимального расхода (холостой ход);
- полностью открывают заслонки по тракту, а затем направляющий аппарат, при этом должно быть измерено гидравлическое сопротивление заслонок;
- постепенно открывают дроссельную заслонку, наблюдая за нагрузкой электродвигателя по амперметру, не допуская его перегрузки и проводят измерения при режиме максимального расхода;
- устанавливают промежуточные режимы, исходя из получения опытных точек с равномерными интервалами по характеристике регулируемую дроссельную заслонку устанавливают по показаниям контрольной пневмометрической трубки (ваттметра).



### **Порядок проведения испытаний тягодутьевых машин**

- Полные характеристика должна иметь не менее пяти точек, соответствующих разным режимам
- Динамическое давление по сечению для каждого режима измеряют дважды при прямом и обратном перемещении пневмометрических трубок, по каждому режиму делают не менее пяти измерений.
- Эксплуатационные испытания тягодутьевых машин должны проводиться при установившемся оптимальном режиме работы котла, минимально возможных присосах и утечках воздуха по газовоздушному тракту.
- Количество точек характеристики, снимаемой при эксплуатационных испытаниях (количество опытов), должно быть не менее пяти-шести.
- После окончания испытаний на одном режиме изменяют нагрузку котла и повторяют все измерения.
- Испытания на всех пяти-шести режимах должны быть проведены в один-два дня.



## Снятие характеристик испытаний газового и воздушного тракта

- Характеристикой газового (воздушного) тракта называется зависимость гидравлического сопротивления всего тракта или его элементов от расхода газа (воздуха) через тракт.
- Каждый вентилятор (дымосос) создает полное давление, соответствующее гидравлическому сопротивлению тракта, на который он работает. Поэтому рабочему режиму машины соответствует точка пересечения ее характеристики с характеристикой тракта.
- Снятие характеристик газоздушных трактов можно проводить самостоятельно при испытаниях котла или при эксплуатационных испытаниях тягодутьевых машин.
- Для построения кривых гидравлического сопротивления тракта требуется не менее четырех точек, из которых две должны соответствовать предельным значениям расходов и две - промежуточным.





## Снятие характеристик испытаний газового и воздушного тракта

- Характеристики газозвоздушного тракта должны быть получены при оптимальных условиях работы котла (оптимальный коэффициент избытка воздуха, минимальные присосы, очищенные поверхности нагрева).
- При снятии характеристик трактов должны измеряться :
  - расход пара (горячей воды);
  - параметры пара (горячей воды) и питательной воды;
  - статическое давление, температуру среды за каждым элементом тракта;
  - содержание  $RO_2$  в газах за пароперегревателем (для определения избытка воздуха), за воздухоподогревателем и за дымососом (для определения присосов воздуха при испытаниях);
  - содержание  $RO_2$  и  $O_2$  или полный анализ газа (для определения потери с химической неполнотой горения);
  - расход газа, расход воздуха на мельницы и горелки, к соплам амбразур молотковых мельниц, на отдельные виды дутья (для последующего определения скоростей и полного давления в данном сечении).



## **Снятие характеристик испытаний газового и воздушного тракта**

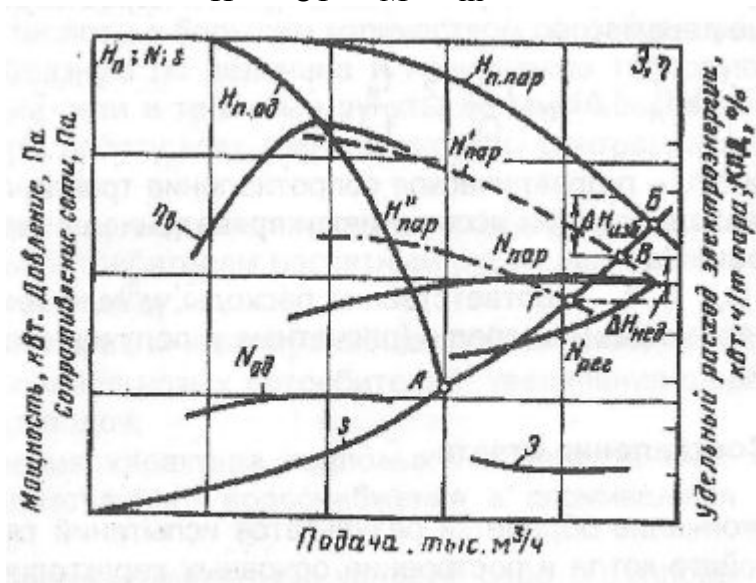
- Полное гидравлическое сопротивление газового тракта (с учетом самотяги) определяется как разность полных давлений перед направляющими аппаратами дымососов и за ними, а сопротивление воздушного тракта - полным давлением за дутьевым вентилятором с присасыванием гидравлического сопротивления заборного короба.
- Результаты испытаний тягодутьевых машин и газоздушных трактов заносят в таблицы
- Обработка результатов испытаний машины заключается в определении для каждого режима ее производительности, полного напора и КПД.



### Составление отчета

- "Введение",
- "Методика испытаний",
- "Результаты испытаний",

Построение основных характеристик  $[N_{II}, N_{CT}, N_M, \eta_m = f(Q)]$



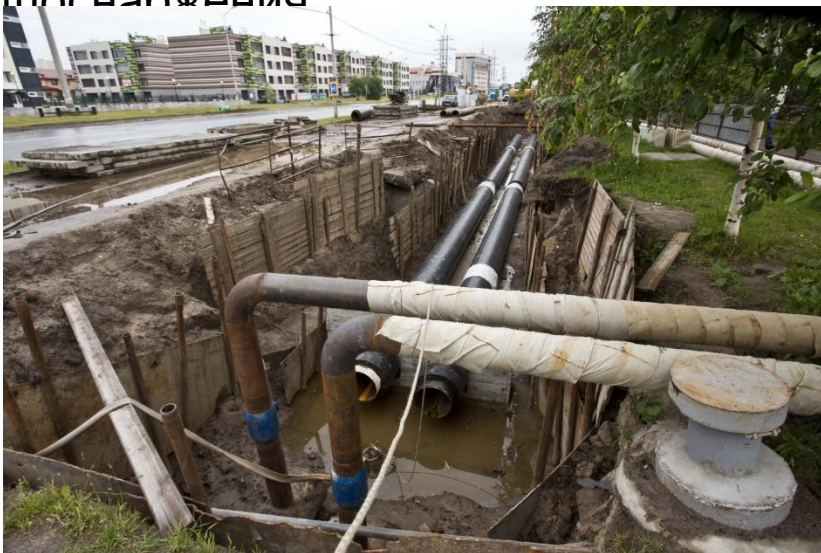
Характеристики одиночной и параллельной работы радиальных машин

- "Выводы и предложения"



## Раздел 7. Испытание и наладка тепловых сетей и тепловых пунктов

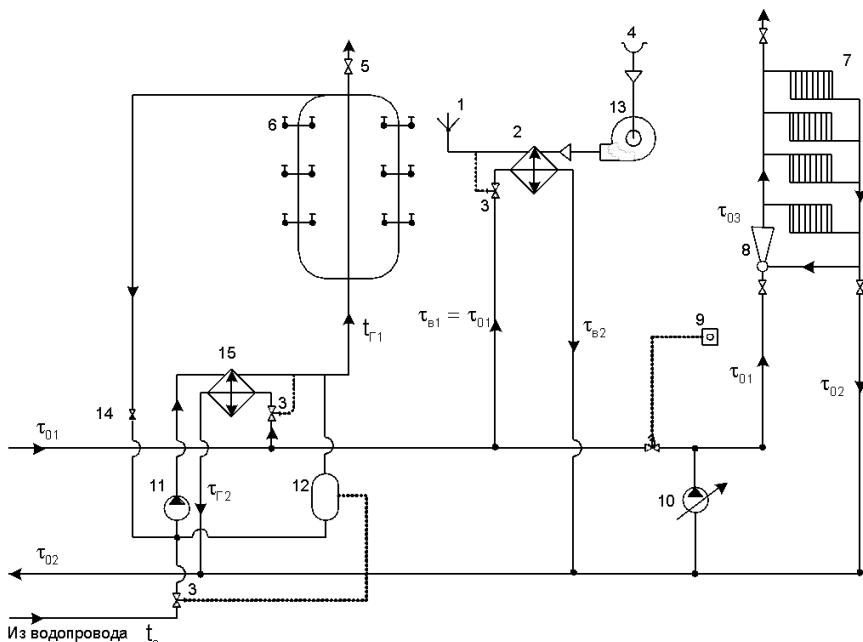
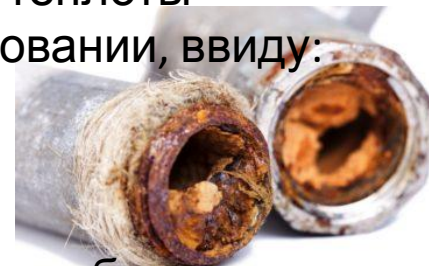
Связывая источник теплоты с большим количеством потребителей, имеющих разнообразную по величине и назначению тепловую нагрузку, тепловые сети и тепловые пункты должны обеспечивать согласованную работу всех звеньев системы централизованного теплоснабжения





В действующих сетях трудно предусмотреть распределение теплоты потребителям расчетным путем, выполненных при проектировании, ввиду:

- низкой гидравлической устойчивости тепловых сетей;
- подключения новых потребителей;
- увеличения шероховатости трубопроводов;
- прочих изменений, вносимых в действующую систему теплоснабжения.





Общая характеристика тепловых сетей

По теплоносителю:

- Водяные
- Паровые

По количеству трубопроводов:

- 2-х трубные
- 4-х трубные

По схеме:

- Кольцевые
- Радиальные

Надежности:

- Резервированными
- Нерезервированными

По направлению движения теплоносителя:

- Подающие
- Обратные

По гидравлическому сопротивлению:

- Магистральные
- Распределительные



Общая характеристика тепловых пунктов:

Индивидуальные



Центральные





Ввод в эксплуатацию тепловых сетей и тепловых пунктов:

До пуска в эксплуатацию новых тепловых сетей и систем теплопотребления должны быть проведены приемо-сдаточные испытания:

- индивидуальные испытания отдельных систем, агрегатов и механизмов;
- комплексное опробование оборудования.

Пуск тепловых сетей производится по рабочей программе, утвержденной главным инженером организации, эксплуатирующей тепловые сети.

Программа пуска тепловой сети должна включать в себя следующие документы и параметры:

- схему насосно-подогревательной установки источника теплоты и режима ее работы при пуске сети по отдельным четко разграниченным во времени отдельным этапам;
- оперативную схему тепловой сети во время пуска;
- очередность и порядок пуска каждой отдельной магистрали или участка;
- указание на время наполнения каждой магистрали с учетом ее объема и скорости заполнения;
- расчетное статическое давление каждой заполненной магистрали и влияние этого давления на смежные трубопроводы сети;
- состав пусковой бригады, расстановку и обязанности исполнителей во время каждого этапа пуска.





Наладка водяных тепловых сетей.

Наладочные работы выполняют в следующей последовательности:

- обследование и испытание системы централизованного теплоснабжения;
- разработка мероприятий повышения эффективности ее работы;
- внедрение разработанных мероприятий;
- регулировка системы.

По материалам обследования систем централизованного теплоснабжения составляют перечень мероприятий по нормализации работы системы и повышению уровня ее эксплуатации.

- Уточнение тепловых нагрузок потребителей.
- Расчет режимов отпуска теплоты.
- Уточнение расчетных расходов теплоносителя.
- Гидравлический расчет тепловых сетей и разработка гидравлических режимов.
- Расчет количества смесительных и дроссельных диаграмм.
- Регулирование тепловых сетей.



Наладка водяных тепловых сетей.

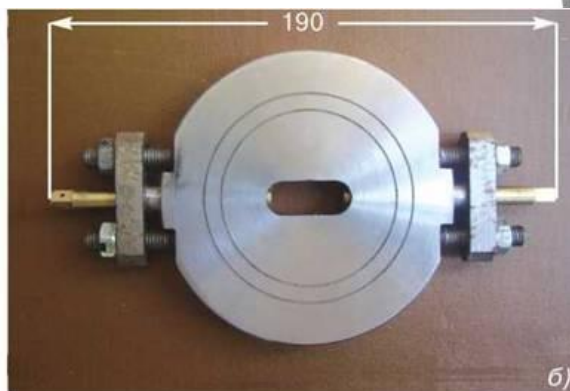
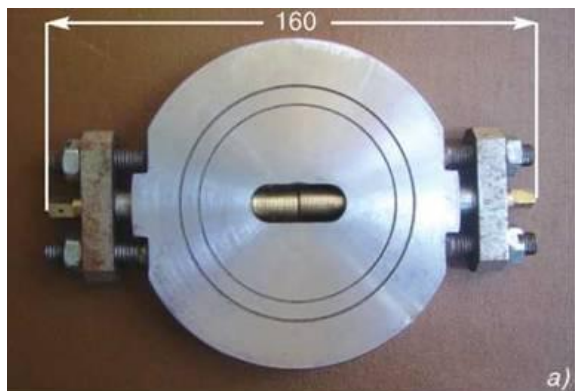
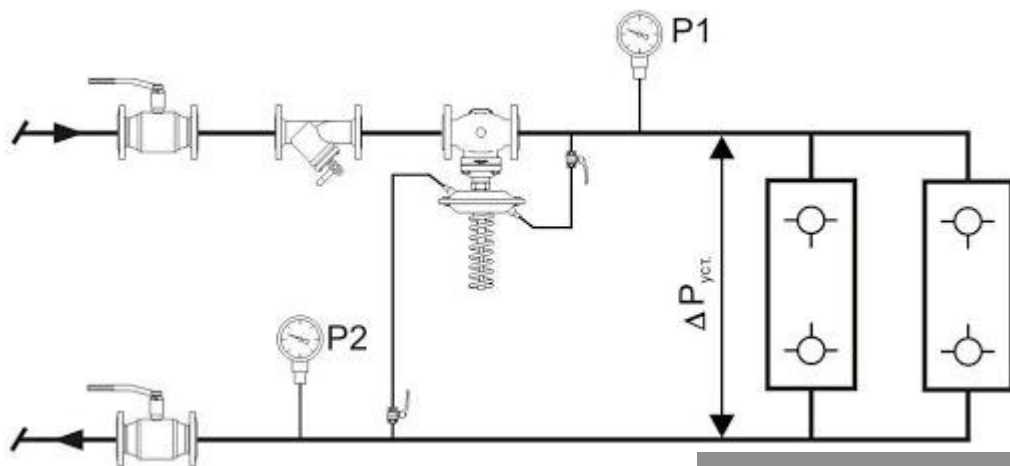


Рис. 2. Внешний вид регулируемой дроссельной шайбы при полностью введенных (а) и полностью выведенных (б) штоках.



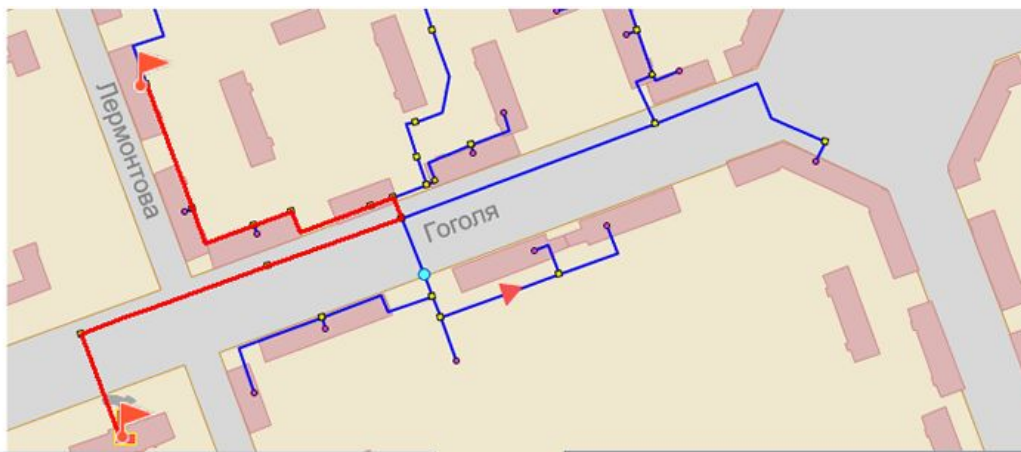
Наладка водяных тепловых сетей.



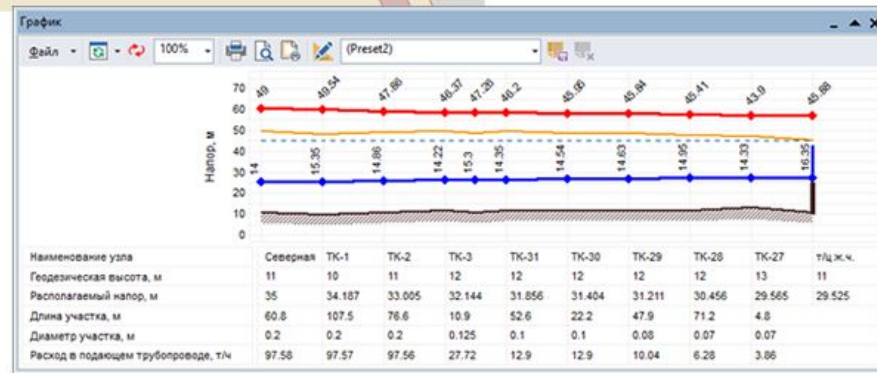
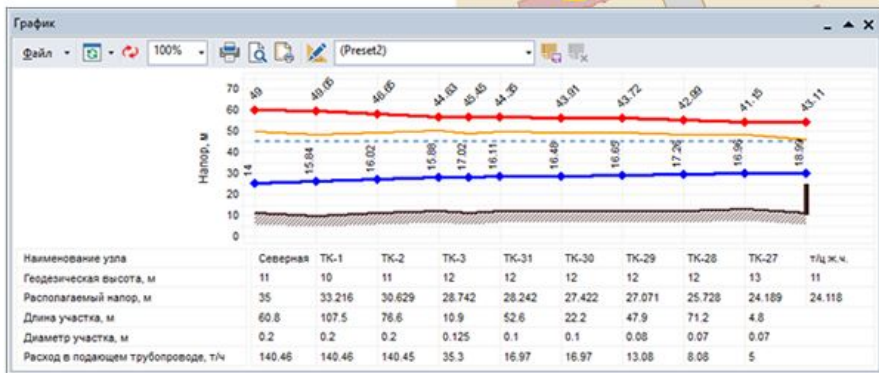


### Наладка водяных тепловых сетей.

до наладки



после наладки





Эксплуатационные испытания тепловых сетей.

Общие положения

Тепловые сети, находящиеся в эксплуатации, в соответствии должны подвергаться следующим испытаниям:

- испытаниям на тепловые потери для определения фактических тепловых потерь теплопроводами в зависимости от типа строительного-изоляционных конструкций, срока службы и условий эксплуатации;
- испытаниям на максимальную температуру теплоносителя с целью выявления дефектов трубопроводов и оборудования тепловой сети, контроля за их состоянием, проверки компенсирующей способности тепловой сети;
- испытаниям на гидравлические потери для получения гидравлических характеристик тепловых сетей;
- гидравлические испытания с целью проверки прочности и плотности трубопроводов, их элементов и арматуры;
- испытаниям на потенциалы блуждающих токов (электрическим измерениям для определения коррозионной активности грунтов и опасного действия блуждающих токов на трубопроводы подземных тепловых сетей).

Все виды испытаний проводятся отдельно, совмещение по времени двух видов испытаний не допускается.



### Испытания на тепловые потери тепловыми сетями

Основным руководящим документом для определения фактических эксплуатационных тепловых потерь через тепловую изоляцию тепловых сетей и разработки на их основе нормируемых эксплуатационных тепловых потерь является [РД 34.09.255-97 от 25.04.1997 г. «Методические указания по определению тепловых потерь в водяных тепловых сетях»](#).

Основным руководящим документом для определения нормативов потерь тепловой энергии в тепловых сетях теплопередачей через теплоизоляционные конструкции теплопроводов является [Приказ Минэнерго РФ № 325 от 30.12.2008 г. «Об утверждении порядка определения нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии»](#) .



Испытания на тепловые потери тепловыми сетями

### **Первый этап - подготовительные работы:**

- анализ материалов по тепловой сети;
- выбор участков сети, подлежащих испытаниям;
- расчет параметров испытаний;
- подготовка сети и оборудования к испытаниям;
- разработка мероприятий по подготовке измерительной аппаратуры.

### **Второй этап - проведение испытаний:**

- согласование рабочей программы испытаний;
- проведение тепловых испытаний (начало испытаний - сразу после завершения отопительного периода);
- обработка данных, полученных при испытаниях;
- сопоставление полученных при испытаниях тепловых потерь с нормативными значениями.



Испытания на тепловые потери тепловыми сетями

**Выбор участков сети, подлежащих испытаниям.** Согласно п. 2.3.3 РД 34.09.255, объем испытываемых участков сети по материальной характеристике выбирается в объеме не менее 20% материальной характеристики всей сети. Для проведения испытаний на тепловые потери рекомендованы те участки сети, у которых тип прокладки и конструкция изоляции являются характерными для всей сети, что позволило распространить результаты испытаний на тепловую сеть в целом.

**Расчет параметров испытаний.** Рассчитываются параметры сетевой воды во время тепловых испытаний, расходы сетевой воды по участкам, обеспечивающие понижение температуры воды в циркуляционном кольце за счет его тепловых потерь при испытаниях не менее 8 и не более 20 °С.





Испытания на тепловые потери тепловыми сетями

**Подготовка сети и оборудования к испытаниям.** Руководителем испытаний на основании программы испытаний заблаговременно определены необходимые мероприятия, которые выполнялись в процессе подготовки сети к испытаниям. В число мероприятий вошли, такие как:

- врезка штуцеров для манометров и гильз для термометров;
- врезка циркуляционных перемычек и обводных линий;
- выбор средств измерений (манометров, термометров, расходомеров и т.п.) для каждой точки измерений в соответствии с ожидаемыми пределами измеряемых параметров при каждом режиме испытаний с учетом рельефа местности и др.;
- организация проверки технического и метрологического состояния средств измерений согласно нормативно-технической документации;
- проверка отключений, предусмотренных программой проведения испытаний, ответвлений и тепловых пунктов.



### Испытания на тепловые потери тепловыми сетями

- подключение измерительных приборов;
- прогрев трубопроводов и грунта;
- установление опытным путем расчетного расхода сетевой воды по циркуляционному кольцу и в контрольных точках;
- установление давления в обратной линии испытываемого кольца на входе в теплофикационную установку (ТФУ) в соответствии с требованиями рабочей программы;
- установление температуры воды в подающей линии испытываемого кольца на выходе из ТФУ;

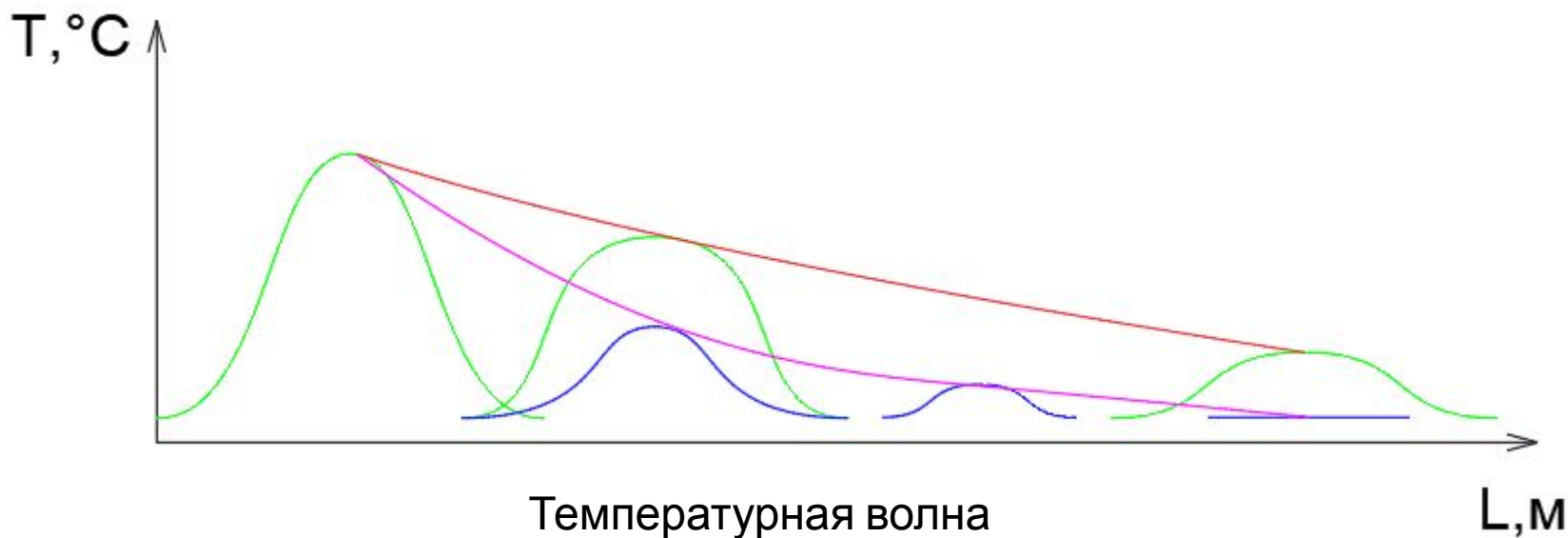
Продолжительность основного этапа - 38 ч с момента достижения установившегося теплового состояния во всех контрольных точках наблюдения (4 ч). Измерения параметров сетевой воды производит в контрольных точках одновременно с интервалом в 10 мин.

Заключительный этап испытаний - испытание методом «температурной волны».

На данном этапе испытаний температура воды в подающем трубопроводе на выходе из ТФУ на короткий промежуток времени (1 ч) поднимается на 20 °С. Во всех контрольных точках наблюдения произведены измерения параметров теплоносителя с интервалом в 10 мин для отслеживания прохождения «температурной волны» по испытываемому кольцу. Окончание заключительного этапа - фиксация «температурной волны» в обратной линии кольца на входе в



Испытания на тепловые потери тепловыми сетями





### Гидравлические испытания тепловых сетей

Гидравлические испытания проводят на магистральных и распределительных трубопроводах тепловых сетей тех участков, где предполагается наихудшее состояние внутренних поверхностей трубопроводов, которое зависит от времени прокладки и включения в эксплуатацию участков тепловой сети,



от качества подпиточной воды с учетом возможных случаев подпитки сырой не умягченной или загрязненной водой; от случаев длительного простоя тепловой сети в опорожненном состоянии; от способа периодичности промывки тепловой сети