РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

РАСЧЕТ ВПРЫСКИВАЮЩИХ ПАРООХЛАДИТЕЛЕЙ ДОКРИТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ

РТМ 24.030.16

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНЫ Центральным научно-исследовательским и проектно-конструкторским котлотурбинным институтом им. И. И. Ползунова

Директор	МАРКОВ Н. М.
Заведующий котельным отделом	МИХАЙЛОВ Г. Ф.
Руководители работы:	ПУГАНОВ Б. Н., СЕМЕНОВКЕР И. Е.
Заведующий базовым отраслевым отделом стандартизации	БАРАНОВ А. П.
Ведущий конструктор отдела стандартизации	АРИЭЛЬ С. Я.

ПОДГОТОВЛЕНЫ К УТВЕРЖДЕНИЮ Главным управлением атомного машиностроения и котлостроения Министерства тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения

Главный инженер	САПОЖНИКОВ А. И.

УТВЕРЖДЕНЫ Министерством тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения

Заместитель министра	СИРЫЙ П. О.

УДК 621.181.67 (083.75)

Группа Е21

РУКОВОДЯЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

РАСЧЕТ ВПРЫСКИВАЮЩИХ ПАРООХЛАДИТЕЛЕЙ ДОКРИТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ

РТМ 24.030.16

Утверждены в качестве обязательных распоряжением Министерства тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения от 8 июля 1971 г. № ПС-002/10330. Срок введения установлен

с 1 января 1972 г.

Настоящие РТМ распространяются на методику расчета двух типов впрыскивающих пароохладителей, применяемых в котлостроении: со струйной форсункой, установленной в паропроводе, и с трубой Вентури с впрыском в ее сжатое сечение. Второй тип пароохладителей, более сложный, применяется в случае ограниченного давления впрыскиваемой воды (например, в схемах впрыска «собственного» конденсата) и при необходимости обеспечения небольшой длины испарительного участка. В обоих типах пароохладителей распыливание воды производится за счет кинетической энергии пара. Расчет пароохладителей предназначен для парогенераторов докритического давления. Руководящие технические материалы дают возможность определять длину испарительного участка, потери давления по паровой и водяной стороне и оптимальные условия работы пароохладителей в зависимости от выбора диаметра отверстий во впрыскивающих форсунках, скорости воды в них и т. п. Наиболее важной характеристикой при проектировании пароохладителя является длина испарительного участка, так как недостаточная величина его приводит к аварийным последствиям: трещинам в паропроводе и коллекторах, температурным разверкам пара в перегревателях и т. п.

Издание официальное

Перепечатка воспрещена

Настоящие РТМ являются обязательными для организаций, проектирующих впрыскивающие пароохладители, а также рекомендуются для расчета редукционно-охладительных установок и аналогичных теплообменных аппаратов.

I. МЕТОДИКА РАСЧЕТА

1.1. Принятые обозначения:

$l_{исп}$ — длина испарительного участка, *м*;

$(w\gamma)_п$ — весовая скорость пара в месте впрыска, *кг/м² · сек*;

p — давление пара перед пароохладителем, *кгс/см²*;

$t_{пе}$ — температура пара перед пароохладителем, °С;

$t_к$ — температура пара за пароохладителем, °С;

t_s — температура насыщения при давлении p, °С;

$\Delta t_{пе} = t_{пе} - t_s$ — начальный температурный напор, °С;

$\Delta t_к = t_к - t_s$ — конечный температурный напор, °С;

$F_{тр}$ — поперечное сечение камеры пароохладителя, *м²*;

$F_{сж}$ — поперечное сечение сжатого сечения (горловины Вентури), *м²*;

$D_{сж}$ — диаметр сжатого сечения (горловины трубы Вентури), *м*;

$l_{сж}$ — длина сжатого сечения (горловины трубы Вентури), *м*;

$m = \frac{F_{сж}}{F_{тр}}$ — модуль сжатого сечения (трубы Вентури);

$D_{отв}$ — диаметр впрыскивающих отверстий, *мм*;

l_0 — исходная длина испарительного участка, *м*;

k_p — поправка на давление пара;

k_t — поправка на температурные условия;

k_m — поправка на модуль сжатого сечения (трубы Вентури);

k_D — поправка на диаметр впрыскивающих отверстий форсунки;

$\gamma_в$ — плотность впрыскиваемой воды, *кг/м³*;

$V_п$ — удельный объем пара в сжатом сечении трубы Вентури, *м³/кг*;

$V_{пп}$ — удельный объем пара перед пароохладителем, *м³/кг*;

$w_в$ — скорость воды во впрыскивающих отверстиях, *м/сек*;

$\zeta_{Вент}$ — коэффициент сопротивления трубы Вентури;

$\zeta_{форс}$ — коэффициент сопротивления впрыскивающих отверстий форсунки;

$H_{Вент}$ — разрежение, создаваемое трубой Вентури, *кг/см²*;

$\Delta p_{Вент}$ — безвозвратные потери давления пара в трубе Вентури, *кг/см²*;

$\Delta p_{форс}$ — потеря давления воды во впрыскивающих отверстиях форсунки, *кг/см²*.

Дается методика расчета следующих величин:

$l_{исп}$ — длина испарительного участка;

$\Delta p_{форс}$ — потеря давления воды во впрыскивающих отверстиях форсунки;

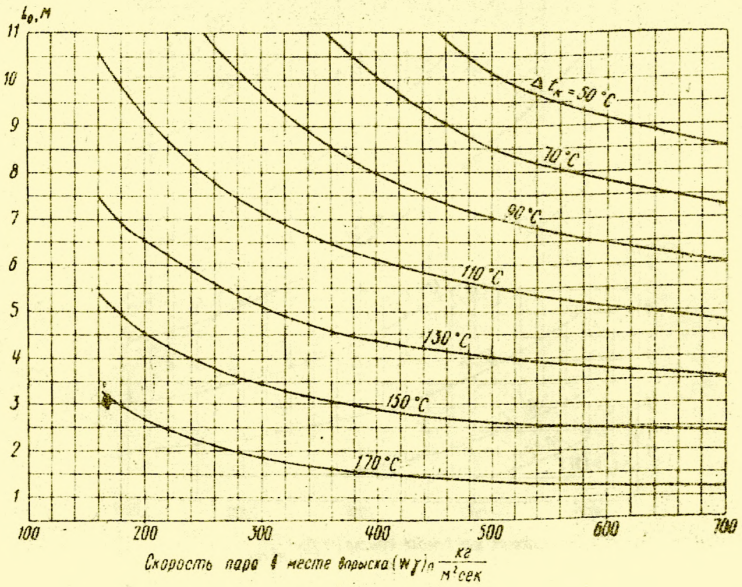
$H_{Вент}$ — разрежение, создаваемое трубой Вентури;

$\Delta p_{Вент}$ — безвозвратные потери давления пара в трубе Вентури.

1.2. Расчет длины испарительного участка $l_{исп}$

1.2.1. В общем случае $l_{исп}$ зависит от многих факторов: конструкции пароохладителя, скорости пара, параметров пара, вели-

Длина испарительного участка l_0. Впрыск струйной форсункой без сужающего устройства



Черт. 1

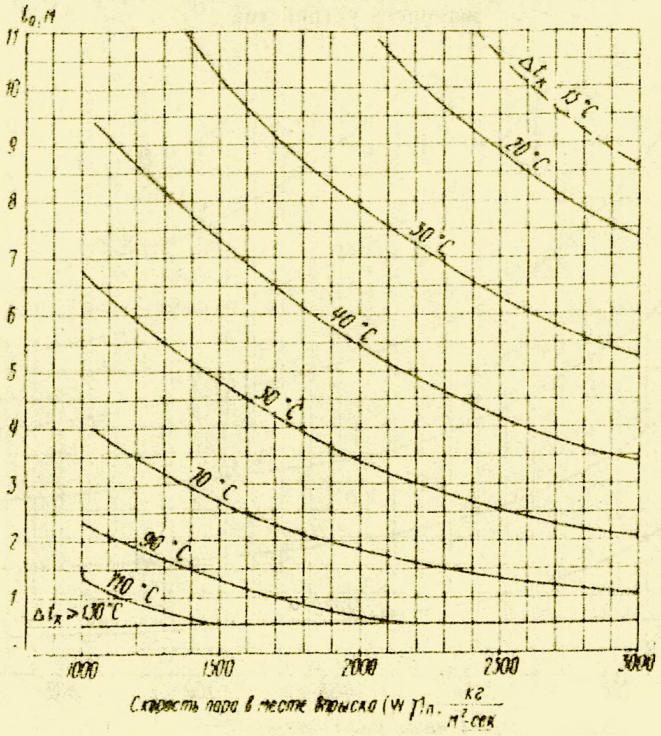
чины теплосъема, размеров впрыска, температуры воды, диаметра впрыскивающих отверстий и скорости воды в них и т. п. Исследование процессов испарения воды в паре позволило сократить число определяющих факторов путем их рационального сочетания и исключения ряда факторов за счет ограничения пределов их применения. Определяющими факторами для $l_{исп}$ приняты: $(w\gamma)_0$, p, $\Delta t_к$, $\Delta t_{пе}$, $D_{отв}$, а для пароохладителя типа трубы Вентури — дополнительно m. Длина испарительного участка определяется

для минимальной нагрузки котла при максимальном охлаждении пара по формуле

$$l_{исп} = l_0 k_p k_t k_m k_D,$$

где l_0 для пароохладителя типа струйной форсунки, установленной в паропроводе, определяется по черт. 1, а для пароохладителя типа трубы Вентури — по черт. 2 (если расчетные скорости

Длина испарительного участка l_0. Впрыскивающие пароохладители с трубой Вентури (впрыск в сжатое сечение)

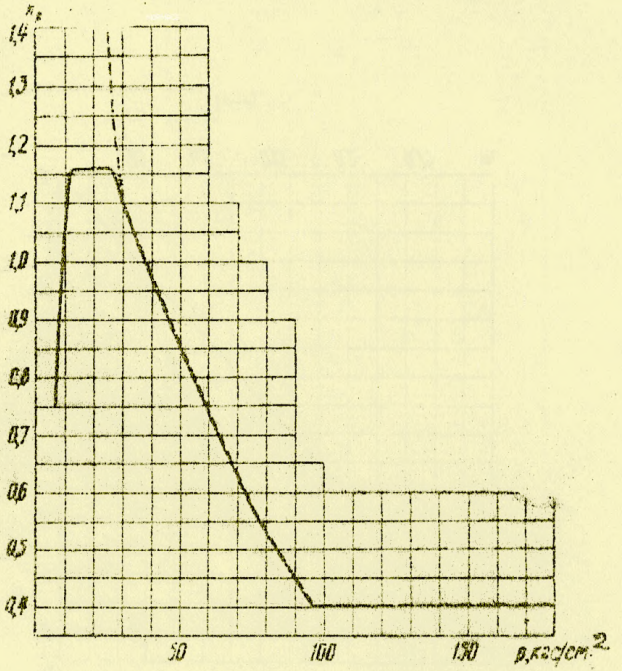


Черт. 2.

пара превышают указанные на черт. 1 и 2, l_0 определяется по предельным значениям $(w\gamma)_п$ на черт. 1 и 2); k_p — по черт. 3, k_t — по черт. 4; k_m для пароохладителя типа струйной форсунки принимается равным 1,0, а для пароохладителя типа трубы Вентури определяется по черт. 5; k_D определяется по черт. 6. Полученная величина $l_{исп}$ округляется в бо́льшую сторону с точностью до 0,1 *м*; при этом, независимо от результатов расчета, она должна приниматься не менее 0,5 *м*.

Расчет по РТМ гарантирует запас по $l_{исп}$ в размере до 20% на возможные отклонения в нестационарных режимах при дав-

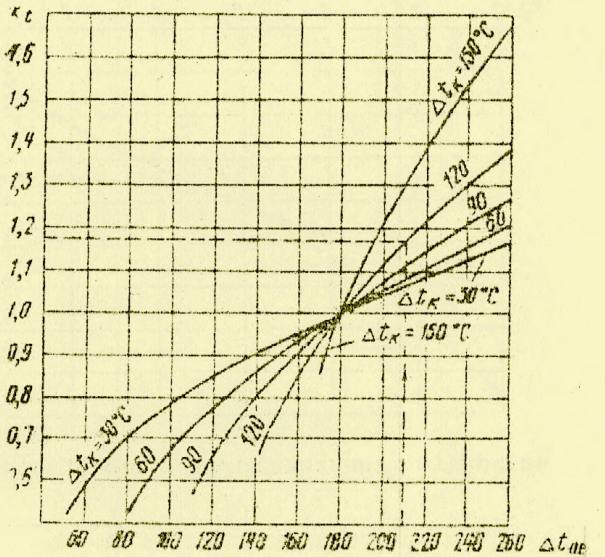
Поправка на давление пара k_p



——— труба Вентури; — — — — струйная форсунка

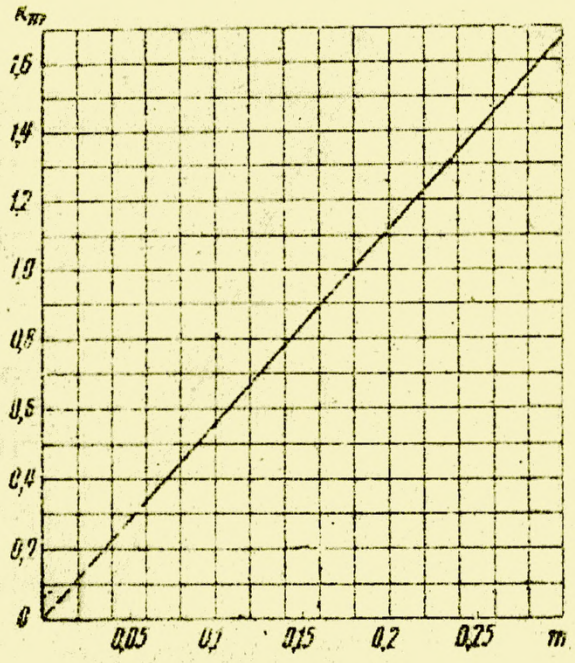
Черт. 3

Поправка на температуру пара k_t при давлении 6—180 кгс/см²



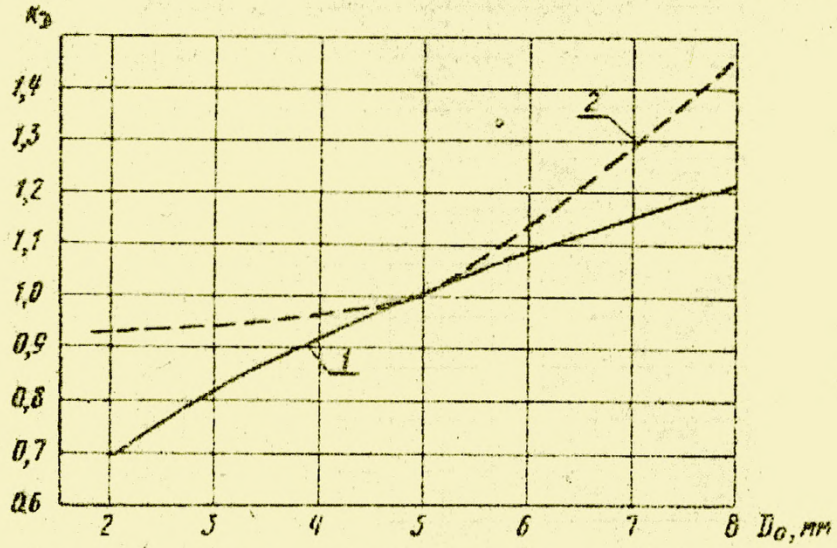
Черт. 4

Поправка на модуль сжатого сечения k_m трубы Вентури



Черт. 5

Поправка на диаметр впрыскивающих отверстий k_D



1 — впрыскивающие пароохладители с трубой Вентури;
2 — струйная форсунка, пароохладитель без сужающего устройства

Черт. 6

лении пара менее 90 *кгс/см*². В аппаратах, работающих в постоянных условиях, допустимо снижение расчетной величины $t_{исп}$ на располагаемый запас — 20%.

1.3. Расчет гидравлических потерь и разрежений

1.3.1. Потеря давления воды во впрыскивающей форсунке определяется по формуле

$$\Delta p_{форс} = \zeta_{форс} \frac{w_в^2 \gamma_в}{2g} \cdot 10^{-4}.$$

При установке фильтра и систематических очистках его $\zeta_{форс} = 3{,}0$. При отсутствии фильтра $\zeta_{форс} = 4{,}0$. Величина $\Delta p_{форс}$ определяется для всех расчетных режимов работы котла при максимальных размерах впрыскиваемой воды.

1.3.2. Разрежение, создаваемое трубой Вентури и обтекаемой вставкой в паропроводе, рассчитывается по формулам:

при $p > 90$ *кгс/см*² $H_{Вент} = \frac{(w\gamma)_п^2 V_{пп}}{2g}(1 - m^2)$;

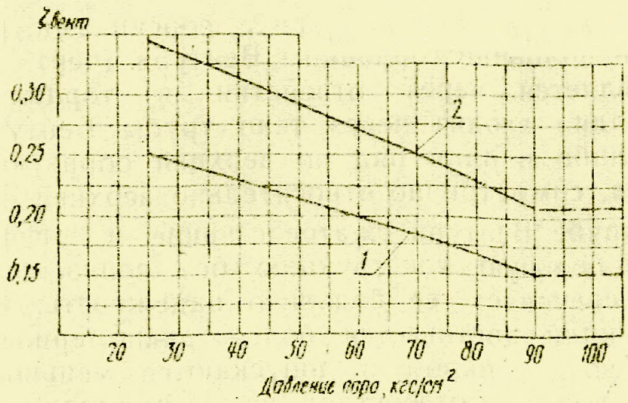
при $p < 90$ *кгс/см*² $H_{Вент} = \frac{(w\gamma)_п^2}{2g}(v_п - v_{пп}m^2)$.

1.3.3. Безвозвратные потери давления пара в трубе Вентури рассчитываются по формуле

$$\Delta p_{Вент} = \zeta_{Вент} H_{Вент},$$

где $\zeta_{Вент}$ определяется по черт. 7.

Коэффициент сопротивления трубы Вентури



1 — цилиндрическая труба Вентури; *2* — плоская труба Вентури и обтекаемая вставка

Черт. 7

2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ

2.1. Рекомендации распространяются на конструкции впрыскивающих пароохладителей со струйной форсункой и с трубой Вентури, а также на установку защитной рубашки.

2.2. Впрыскивающий пароохладитель со струйной форсункой

2.2.1. Общепринятая конструкция впрыскивающего устройства в виде струйной форсунки показана на черт. 8. Форсунка устанавливается перпендикулярно оси паропровода. Впрыск воды рекомендуется осуществлять поперек потока пара, что обеспечивает лучшую тепловую работу пароохладителя. Впрыскивающие отверстия следует выполнять диаметром 3—5 *мм*. В исключительных случаях допустимо применять $D_{отв}$ 2—8 *мм* при соответствующем изменении $l_{исп}$ согласно черт. 6.

Скорости воды в отверстиях форсунки при минимальной нагрузке котла рекомендуется принимать не менее 1,0 *м/сек* при 5%-ном впрыске. Для других нагрузок котла и размеров впрыска скорости воды пересчитываются пропорционально нагрузкам и размерам впрыска. При трудности обеспечения таких низких скоростей воды их допустимо увеличивать, но так, чтобы при максимальном впрыске и номинальной нагрузке котла они не превышали 10—20 *м/сек* (верхний предел применять для $p \geqslant 150$ *кгс/см*^{2}). Ввод форсунки в паропровод должен осуществляться через штуцер с паровой рубашкой. Во избежание поломки от вибрации глухой конец форсунки должен быть укреплен в опоре, допускающей свободное удлинение форсунки.

2.3. Впрыскивающие пароохладители с трубой Вентури

2.3.1. Рекомендуются два вида впрыскивающих устройств с трубой Вентури:

— плоская труба Вентури (черт. 9)* с впрыском воды через отдельно расположенную струйную форсунку в сжатое сечение, выполненное в виде узкой щели;

— цилиндрическая труба Вентури с форсунками, расположенными в верхней половине горловины Вентури (черт. 10). Впрыск воды осуществляется через отверстия в торцах форсунок. Форсунки свободно входят через тело трубы Вентури и могут располагаться либо в один ряд по верхней образующей трубы, либо в два ряда, симметрично относительно верхней образующей.

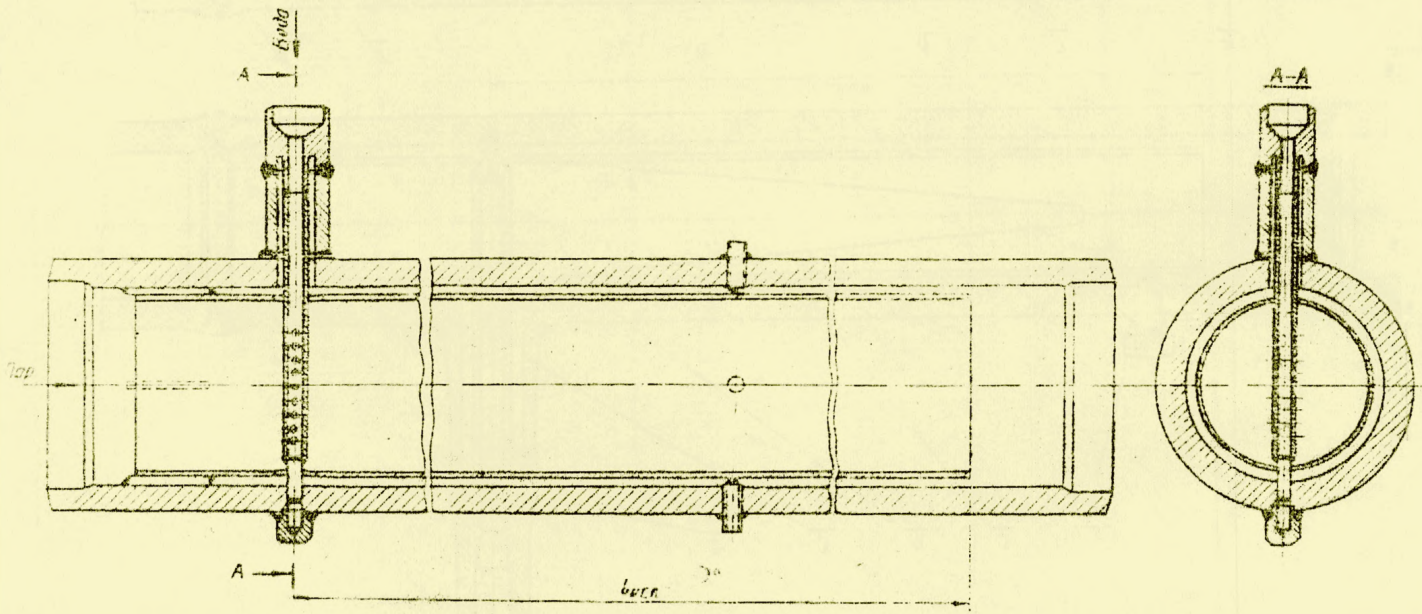
В плоской трубе Вентури сжатое сечение и диффузор представляют собой цельную конструкцию без поперечных сварных швов, что обеспечивает ее бо́льшую надежность. Кроме того, в этой конструкции достигается более равномерное смешение впрыскиваемой воды с паром и допускаются меньшие скорости воды во впрыскивающих отверстиях, чем в цилиндрической трубе Вентури. Однако она имеет повышенное гидравлическое сопротивление.

Плоская труба Вентури предпочтительна для котлов $p \geqslant 90$ *кгс/см*^{2}, а цилиндрическая труба Вентури — для котлов $p \leqslant 40$ *кгс/см*^{2}.

---

* Приведенные на черт. 9, 10, 11, 12 конструкции являются одними из возможных вариантов исполнения пароохладителей.

Пароохладитель со струйной форсункой. Впрыск поперек потока

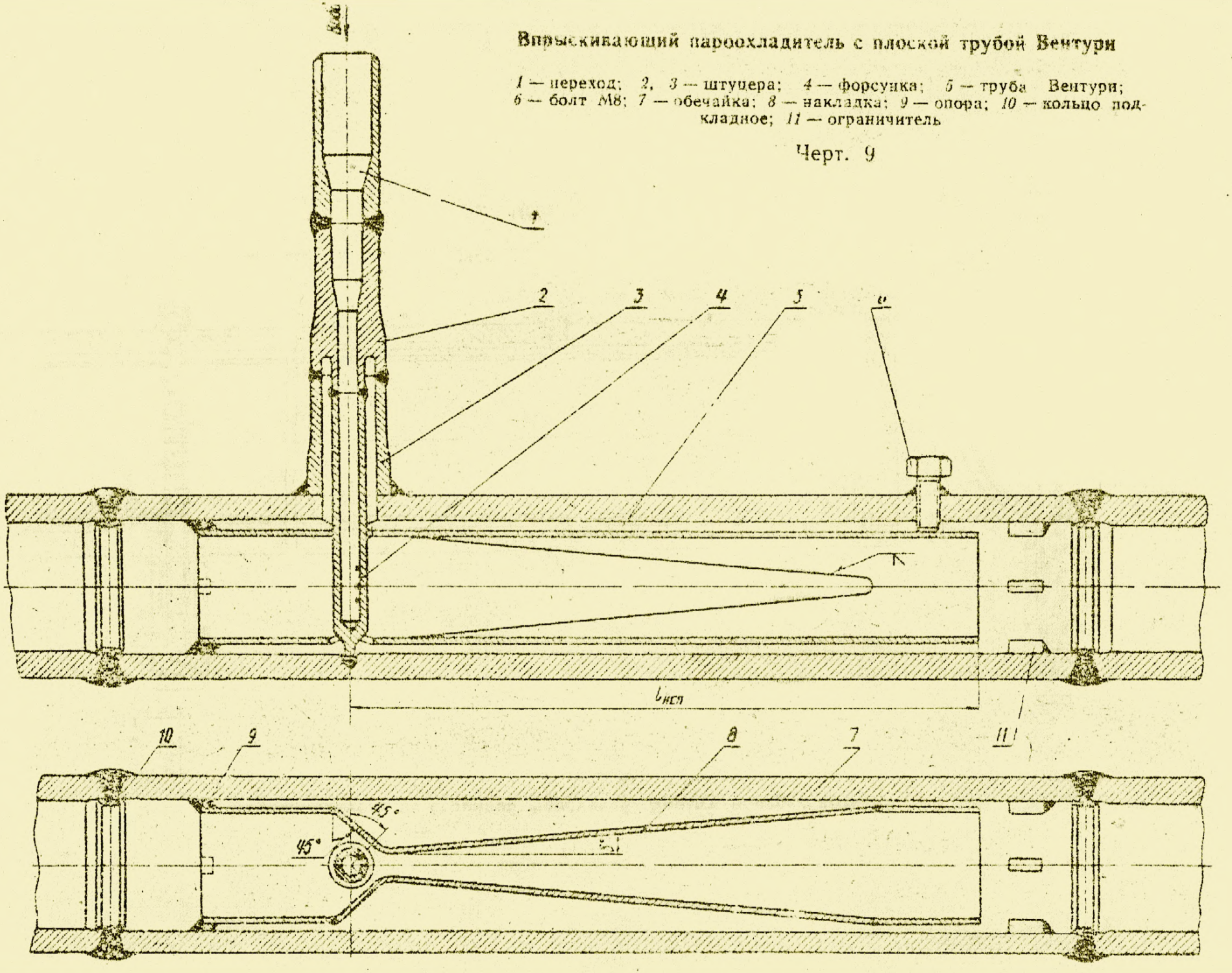


Черт. 8

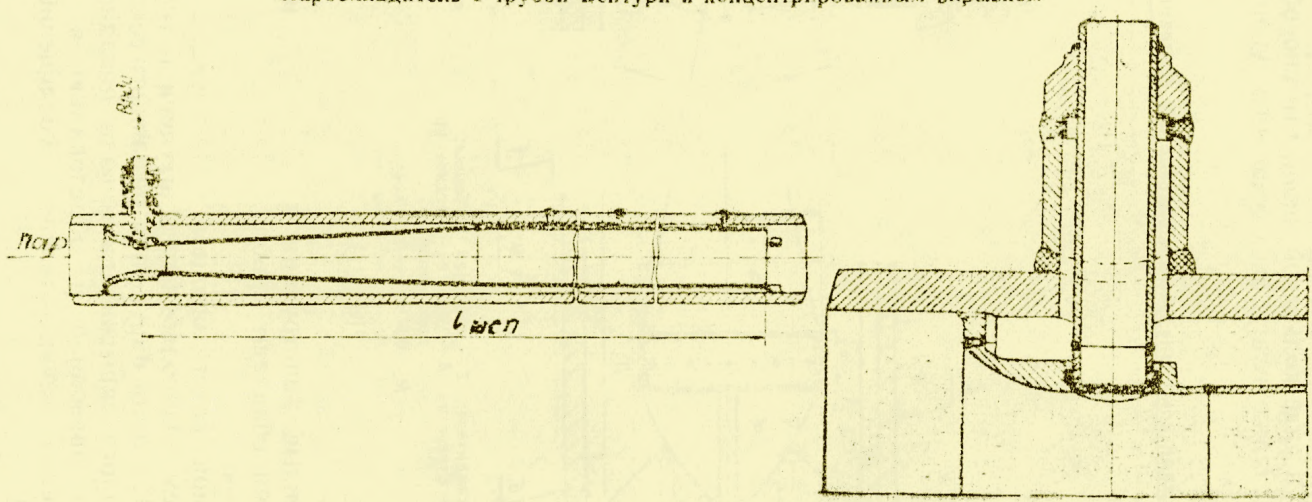
Впрыскивающий пароохладитель с плоской трубой Вентури

1 — переход; *2*, *3* — штуцера; *4* — форсунка; *5* — труба Вентури; *6* — болт М8; *7* — обечайка; *8* — накладка; *9* — опора; *10* — кольцо подкладное; *11* — ограничитель

Черт. 9



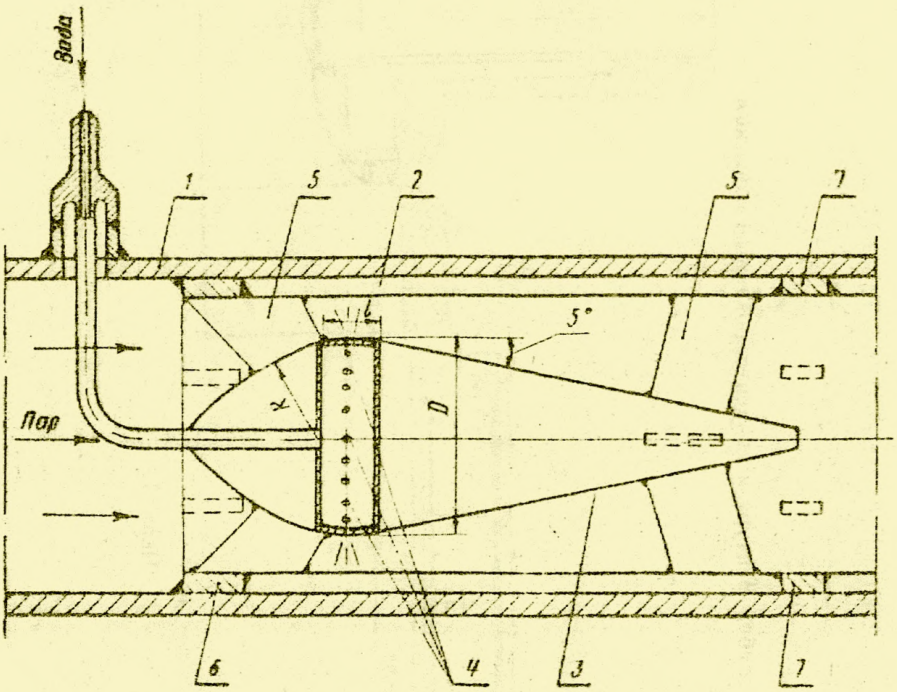
Пароохладитель с трубой Вентури и концентрированным впрыском



Черт. 10

Для паропроводов большого диаметра ($d \geqslant 400$ *мм*) рекомендуется пароохладитель с внутренней обтекаемой вставкой (черт. 11) с впрыском воды поперек потока пара в сжатое сечение, выполненное в виде кольцевой щели, что способствует равномерному распределению влаги и улучшению условий распыливания.

Пароохладитель с внутренней обтекаемой вставкой



1 — камера пароохладителя; *2* — защитная рубашка; *3* — обтекаемая вставка; *4* — впрыскивающие отверстия; *5* — упор; *6* — жесткое крепление; *7* — направляющая опора

$R = 0{,}5D$; $l = 0{,}2 \div 0{,}3D$

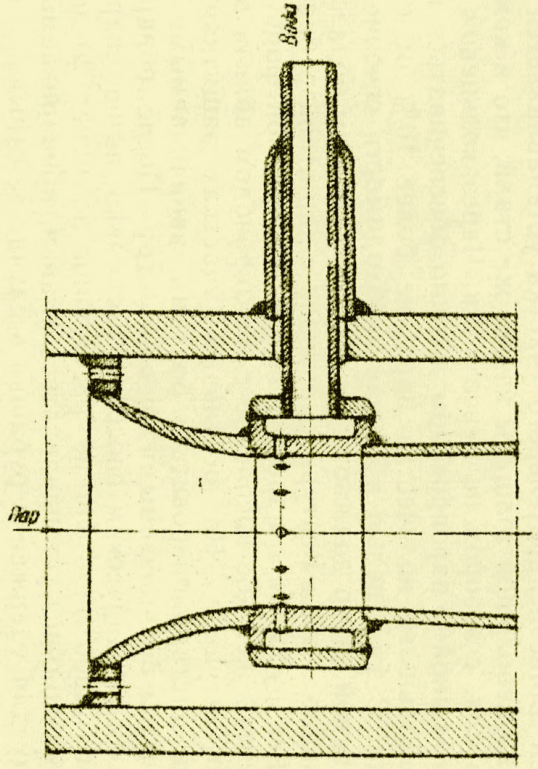
Черт. 11

Все перечисленные конструкции пароохладителей с сужающими устройствами обладают приблизительно одинаковой тепловой эффективностью.

В изготовляемой ранее заводами конструкции пароохладителя с соединением водоподводящего штуцера с трубой Вентури на резьбе (черт. 12) были нарушения резьбового соединения, через неплотности которого впрыскиваемая вода попадала на стенку паропровода, что приводило к образованию в нем трещин. Поэтому конструкции пароохладителя с соединением на резьбе не рекомендуются.

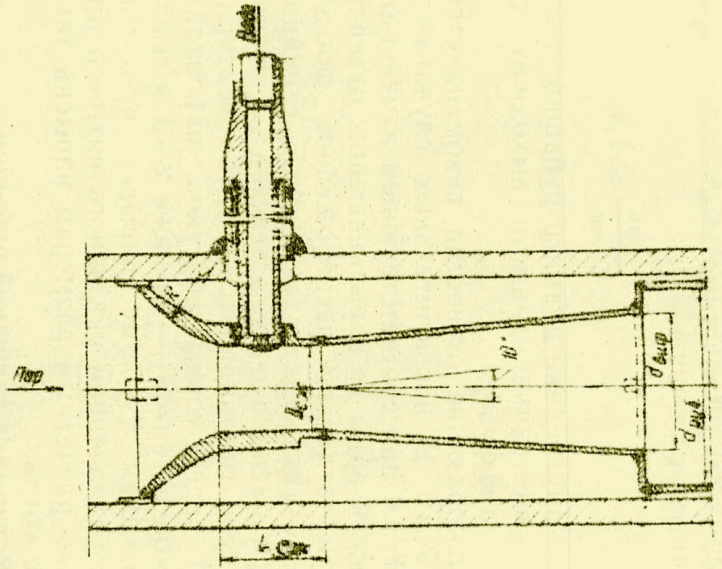
Конструкция трубы Вентури (черт. 13) должна удовлетворять следующим требованиям: радиус закругления конфузора

Резьбовое соединение водоподводящего штуцера с трубой Вентури



Черт. 12

Укороченная труба Вентури



Черт. 13

$R \geqslant 0{,}2\,D_{сж}$; длина сжатого сечения (горловины) $l_{сж} = (1{,}0 \div 1{,}5)\,D_{сж}$; центральный угол раскрытия диффузора Вентури не более 10°; линейная скорость пара в сжатом сечении Вентури не более 300 *м/сек*. Допустимо выполнять диффузор трубы Вентури укороченным, с отношением:

$$\frac{d_{руб}}{d_{диф}} \leqslant 1{,}4,$$

где $d_{руб}$ — внутренний диаметр рубашки;

$d_{диф}$ — внутренний диаметр выходного сечения укороченного диффузора.

Впрыскивающие отверстия рекомендуется выполнять диаметром 3—5 *мм*. В исключительных случаях допустимо применять $D_{отв}$ 2—8 *мм* при соответствующем изменении $l_{исп}$ согласно черт. 6.

Скорости воды во впрыскивающих отверстиях выбираются:

а) при отдельно расположенной форсунке (плоская труба Вентури) — так же, как указано для струйной форсунки (п. 2.2.1);

б) при расположении отверстий на поверхности сжатого сечения Вентури (цилиндрическая труба Вентури с впрыском по периметру и через торцы форсунок, пароохладитель с внутренней обтекаемой вставкой) — не ниже 2—3 *м/сек* при расходе воды, соответствующем 5%-ному впрыску при минимальной нагрузке котла, с увеличением указанного нижнего предела прямо пропорционально расчетным размерам впрыска также при минимальной нагрузке котла.

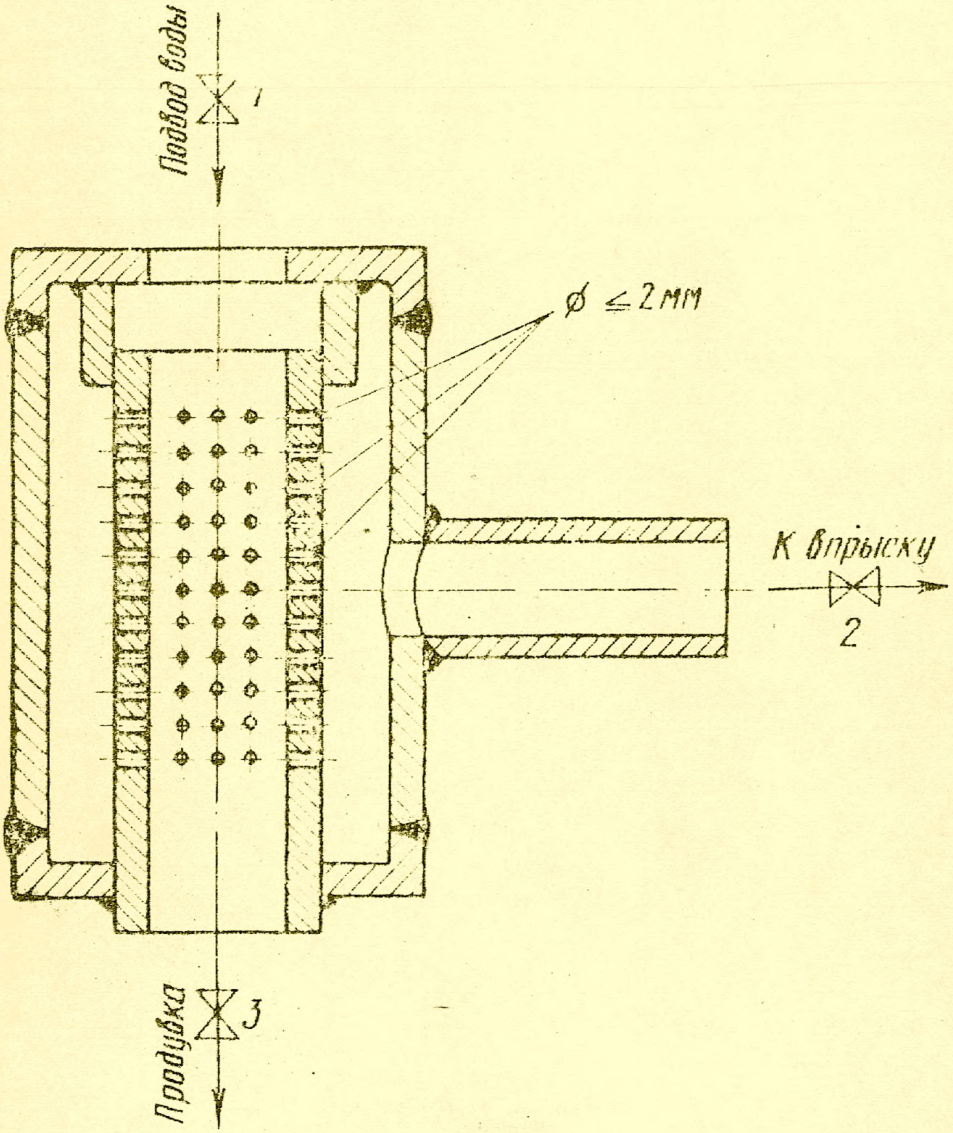
2.4. Установка защитной рубашки

2.4.1. Пароохладители всех типов должны устанавливаться в прямых трубах, располагаемых горизонтально или вертикально. В последнем случае предпочтительно подъемное движение пара. На всей длине испарительного участка устанавливается защитная рубашка небольшой толщины из той же стали, что и камера пароохладителя, с зазором не менее 5 *мм*. Через кольцевой зазор между рубашкой и паропроводом должно обеспечиваться прохождение небольшого количества пара, не более 10% от его общего расхода. С этой целью в случае необходимости сечение на входе в кольцевой зазор должно быть соответствующим образом задросселировано. Труба Вентури, сваренная с защитной рубашкой, либо защитная рубашка в пароохладителе со струйной форсункой должны иметь жесткое крепление с паропроводом вблизи водоподводящего штуцера. На остальных участках защитная рубашка должна дистанционироваться болтами, ввинчиваемыми через паропровод и обвариваемыми по периметру. После обварки болты обрезают механическим способом несколько выше сварного шва. В конце пароохладителя на расстоянии не менее 20 *мм* от края рубашки должны устанавливаться планки, привариваемые к паропроводу для удержания рубашки в случае ее отрыва.

Вблизи впрыскивающего устройства, на линии подвода воды, необходимо устанавливать фильтры. Корпус фильтра изготавли-

вается из той же стали, что и камера пароохладителя, а фильтр — из нержавеющей стали с большим количеством отверстий диаметром не более 2 *мм* с общим сечением, в несколько раз превышаю-

Схема фильтра



Черт. 14

щим сечение водоподводящей линии. Конструкция фильтра должна допускать возможность его очистки и продувки впрыскивающих отверстий обратным ходом пара, для чего необходимо установить арматуру согласно черт. 14.

Редактор *З. Т. Потапова*

Техн. ред *Н. П. Белянина.* Корректор *Г. Х. Макарова.*

Сдано в набор 5/IV 1972 г. Подп. к печ. 13/V 1972 г. Формат бум. 60×90 1/16.
Объем 1 1/8 печ. л. Тираж 800. Заказ 248. Цена 20 коп.

Группа полиграфических работ ОНТИ ЦКТИ им. И. И. Ползунова.
194021, Ленинград, Политехническая ул., д. 24.

Ротапринт, Допечатка. Тираж 100 экз.
Зак. 683. Цена 20 коп НПО ЦКТИ 1978 г.

gost.e-ecolog.ru