РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ КОНТУРОВ КОТЛОВ НИЗКОГО И СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

РТМ 24.030.42—74

Издание официальное

МИНИСТЕРСТВО ТЯЖЕЛОГО, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Москва

gost.e-ecolog.ru

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

Директор	**Н. М. МАРКОВ**
Заведующий базовым отраслевым отделом стандартизации	**К. А. СУПРЯДКИН**
Заведующий отделом промышленной и малой энергетики	**В. Д. ТЕРЕНТЬЕВ**
Исполнители:	**Б. Е. АКОПЬЯНЦ,** **А. А. ЛИФЕРЕНКО**

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

Главный инженер	**В. Д. ЗОРИЧЕВ**

УТВЕРЖДЕН Министерством тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения

Заместитель министра	**П. О. СИРЫЙ**

УДК 621.18 : 532.5.001.24 (083.75)

Группа Е21

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ КОНТУРОВ КОТЛОВ НИЗКОГО И СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

РТМ 24.030.42—74

Указанием Министерства тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения от 17 марта 1975 г. № ПС-002/3340 введен как рекомендуемый.

Настоящий руководящий технический материал (РТМ) распространяется на циркуляционные контуры с рециркуляционными трубами паровых котлов, котлов-утилизаторов и энерготехнологических котлов с давлением от 10 до 50 кгс/см². В РТМ более подробно излагаются положения главы 4, раздела Ж «Нормативного метода гидравлического расчета паровых котлов».* (ЦКТИ—ВТИ, Руководящие указания, 1973, вып. 33).

1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

A, B, C — размерные коэффициенты, зависящие от физических констант пара и воды;

D — расход пара в элементе, кг/ч;

p — давление, кгс/см²;

Δp — перепад давления, сопротивление, кгс/м²;

S — напор, кгс/м²; солесодержание котловой воды, мг/кг;

l, h — длина, высота коллектора, трубы, контура, м;

d — внутренний диаметр трубы, коллектора, м;

V — паровая нагрузка единицы объема верхнего собирающего коллектора, (м³/с)/м³;

w — скорость среды, м/с;

* В дальнейшем «Нормативный метод гидравлического расчета паровых котлов» будет упоминаться как «Нормативный метод».

γ — удельный вес среды, кг/м^3;
φ — напорное паросодержание;
σ — коэффициент поверхностного натяжения на границе пар—вода, кг/м;
g — ускорение силы тяжести, м/с^2;
z — полный коэффициент сопротивления;
α — угол наклона трубы, коллектора в градусах;
$'$ — вода на линии насыщения;
$''$ — пар на линии насыщения.

Индексы

ак — активная;
вн — внутренний;
д. с — диаметральное сечение;
к — контур;
к. в — котловая вода;
кол — коллектор;
нив — нивелирный;
ос — осевая;
отв — пароотводящая;
пол — полезный;
под — подъемный;
рец — рециркуляционная.

2. ОПИСАНИЕ СХЕМЫ И РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В КОРОТКОЗАМКНУТОМ ЦИРКУЛЯЦИОННОМ КОНТУРЕ

2.1. Одним из средств повышения запасов надежности циркуляции воды в контуре с испарительными трубами, объединенными нижним раздающим и верхним собирающим коллекторами, является применение рециркуляционных труб.

2.2. Рециркуляционными называются трубы, соединяющие верхний коллектор непосредственно с нижним. Они выполняются, как правило, необогреваемыми. Контуры с рециркуляционными трубами относятся к числу короткозамкнутых.

2.3. В контуре с рециркуляционными трубами пароводяная смесь из подъемных труб попадает в верхний собирающий коллектор, в котором она частично разделяется.

Из верхнего коллектора пароводяная смесь поступает в пароотводящие трубы и далее в барабан котла или выносной сепаратор солевого отсека, где происходит окончательное отделение пара от воды. Вода по опускной системе отводится в нижний коллектор и затем снова поступает в подъемные трубы.

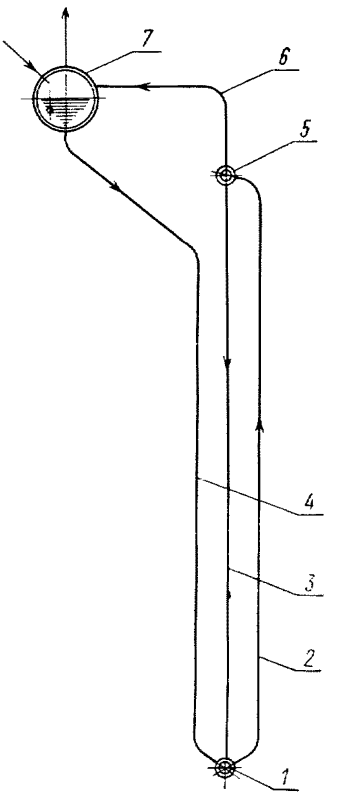
Часть циркулирующей в контуре воды, отделившаяся в верхнем собирающем коллекторе, направляется в нижний раздающий коллектор более коротким путем: по рециркуляционным трубам, минуя пароотводящие трубы, сепарационные устройства и опускную систему. Циркуляционный контур при этом замыкается накоротко.

Суммарный расход воды по нему, при всех прочих равных условиях, увеличивается.

Примерная схема короткозамкнутого контура с рециркуляционными трубами представлена на черт. 1.

2.4. Верхний собирающий коллектор в контуре с рециркуляционными трубами выполняет роль первичного сепаратора; однако из-за малого диаметра разделение смеси в нем затруднено и вместе с водой в рециркуляционные трубы сносится некоторое количество пара. Это уменьшает вес столба среды в трубах и увеличивает их сопротивление. Количество циркулирующей по контуру воды при этом уменьшается.

Схема короткозамкнутого циркуляционного контура с рециркуляционными трубами



1 — нижний раздающий коллектор; *2* — подъемные трубы; *3* — рециркуляционные трубы; *4* — опускные трубы; *5* — верхний собирающий коллектор; *6* — пароотводящие трубы; *7* — барабан - сепаратор

Черт. 1

2.5. Величина сноса пара в рециркуляционные трубы характеризуется напорным паросодержанием $\varphi_{рец}$, которое выбирается по номограммам (черт. 2), построенным на основе экспериментальных данных. Эксперименты, положенные в основу РТМ, проводились на контурах небольшой высоты, поэтому представленные на черт. 2 рекомендации наиболее точно отражают действительные значения напорного паросодержания в рециркуляционных трубах с высотой $h_к = 3 \div 8$ м.

2.6. Напорное паросодержание в рециркуляционных трубах определяется состоянием смеси в верхнем собирающем коллекторе (распределением фаз в поперечном его сечении) и зависит от следующих режимных параметров и конструктивных факторов:

— давления, характеризующего состояние физических параметров пара и воды;

— расходных характеристик смеси, проходящей через коллектор;

— солесодержания котловой воды;

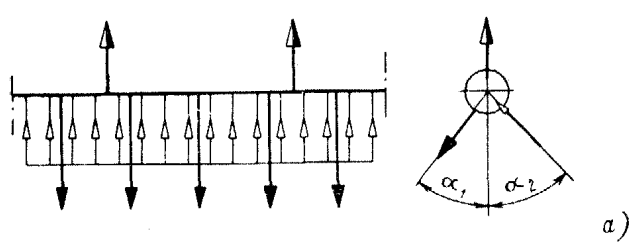
— диаметра верхнего коллектора;

— размещения подъемных, пароотводящих и рециркуляционных труб по длине и в поперечном сечении коллектора;

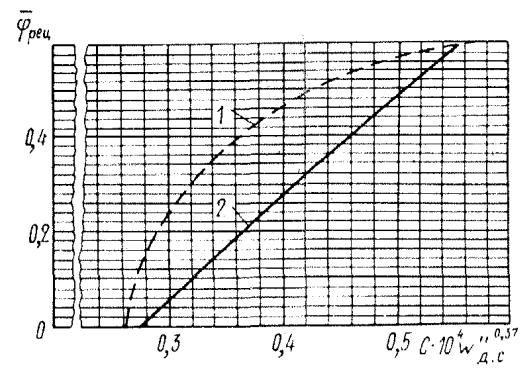
— диаметра и относительного сечения рециркуляционных труб;

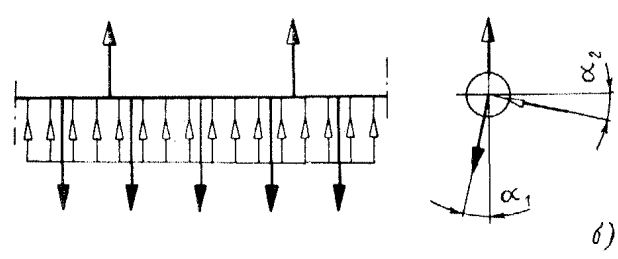
— положения верхнего коллектора (угла наклона его к горизонтали).

Среднее напорное паросодержание в рециркуляционных трубах

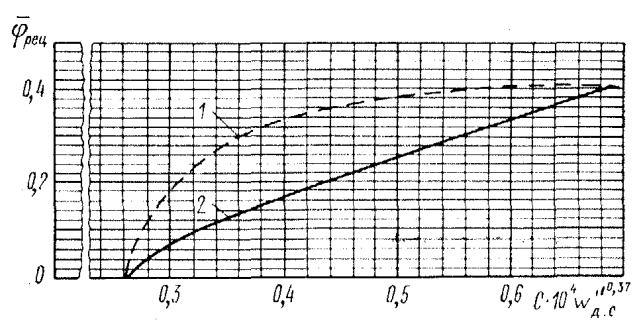


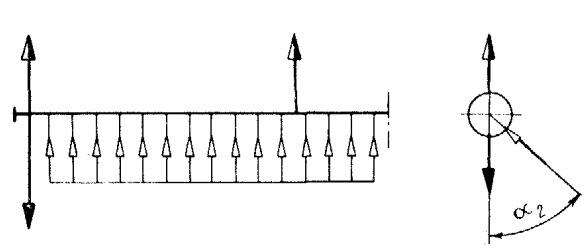
а)



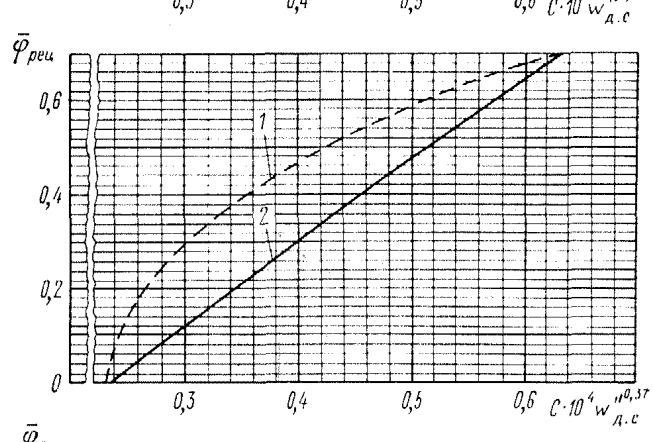


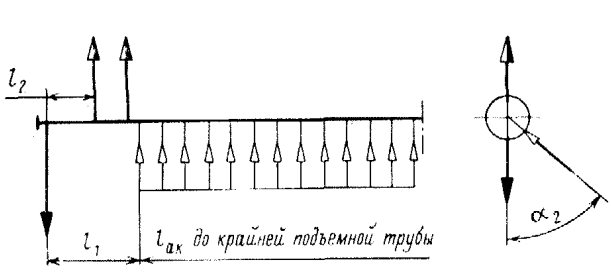
б)



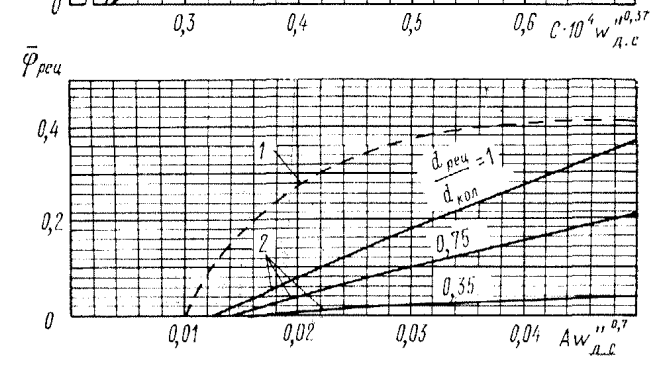


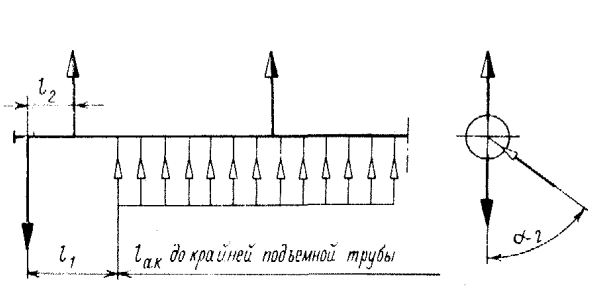
в)



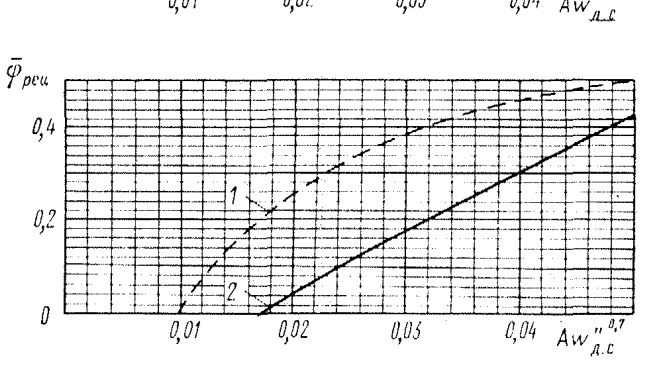


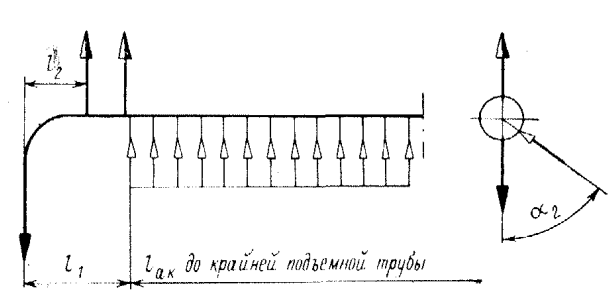
г)



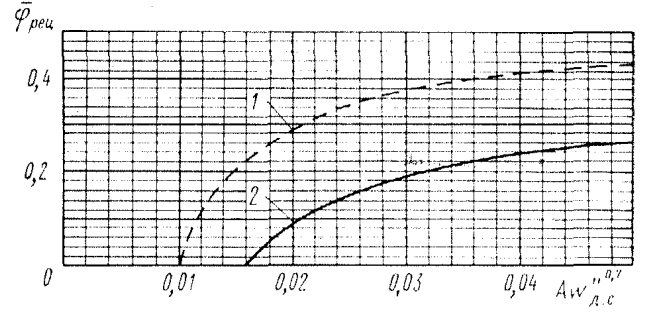


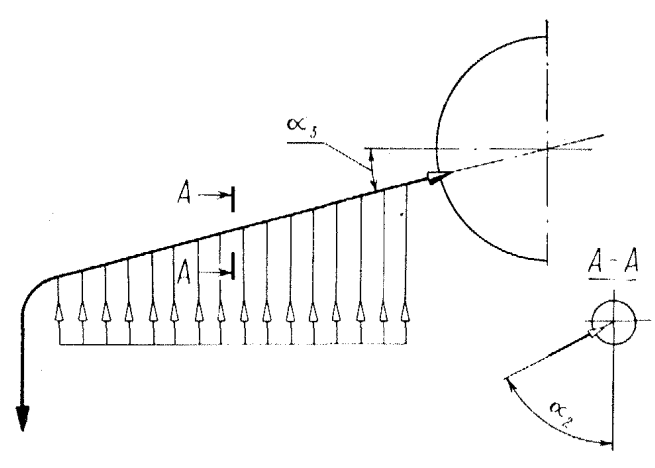
д)



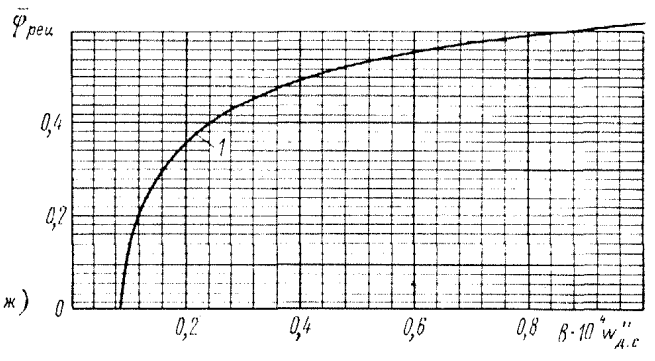


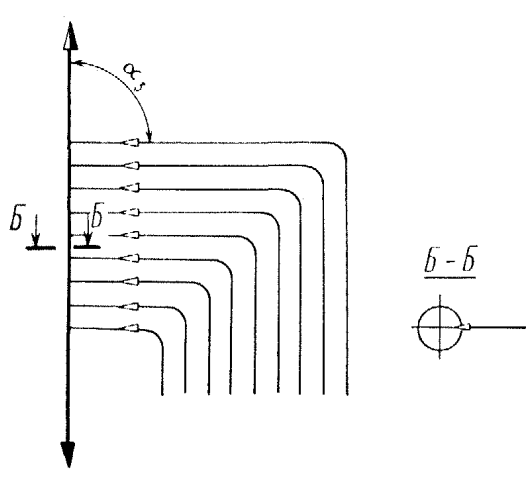
е)



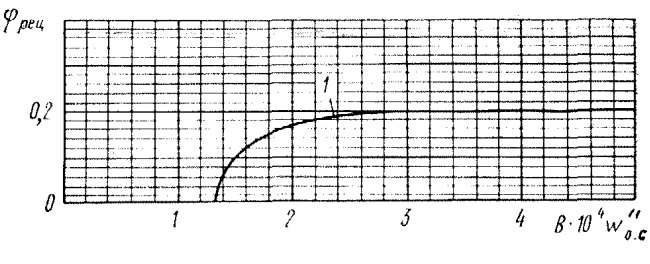


ж)





з)



Условные обозначения:

пароотводящие трубы ; *рециркуляционные трубы ;* *подъемные трубы*

Углы наклона труб и коллекторов в градусах

Обозначение схемы	α_1	α_2	α_3
а	15—50	0—80	0
б	0—15	0—10	0
в	0	15—90	0
г	0	15—90	0
д	0	15—90	0
е	0	15—90	0
ж	0	0—45	12—18
з	0	—	90

1 — при закритическом солесодержании котловой воды; *2* — при докритическом солесодержании котловой воды

Черт. 2

2.7. В зависимости от перечисленных факторов состояние смеси в верхнем собирающем коллекторе может быть различным. При этом возможны два крайних случая:

— существование границы раздела фаз, когда нижняя часть коллектора заполнена водой, а верхняя паром;

— относительно равномерное распределение фаз по высоте сечения коллектора.

В первом случае паросодержание в рециркуляционных трубах равно или близко к нулю; во втором — оно достигает максимальных значений для данной конструкции контура.

2.8. С увеличением паровой нагрузки контура и давления структура пароводяной смеси в собирающем коллекторе приближается к гомогенной и отвод воды по рециркуляционным трубам затрудняется.

2.9. Отличительной особенностью контуров с рециркуляционными трубами является существование области малых паровых нагрузок собирающего коллектора, в которой снос пара в эти трубы практически отсутствует.

2.10. Величина паровой нагрузки собирающего коллектора, при которой начинается снос пара в рециркуляционные трубы и значение максимально достигаемого паросодержания в них, зависит от конструктивных факторов, перечисленных в п. 2.6.

2.11. Экспериментально установлено, что сносимый в рециркуляционные трубы пар распределяется по их высоте неравномерно. Из-за конденсации пара по мере движения вниз по трубе, работающей, как правило, в режиме слабого теплоотвода, наибольшие значения $\varphi_{рец}$ имеют место в верхних участках трубы, т. е. на входе в нее. В нижних же участках $\varphi_{рец}$ близко либо равно нулю, поэтому попавший в рециркуляционные трубы пар не следует учитывать при определении паросодержания в подъемных трубах.

В гидравлических расчетах контуров с рециркуляционными трубами принимается среднее значение напорного паросодержания $\overline{\varphi_{рец}}$.

2.12. Если рециркуляционные трубы частично обогреваются, то среднее напорное паросодержание в них определяется с учетом обогрева.

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ

3.1. Применение рециркуляционых труб наиболее целесообразно в контурах небольшой высоты, в которых длина этих труб меньше, чем общая длина пароотводящих и опускных.

3.2. Поскольку разделение пароводяной смеси в собирающем коллекторе происходит под действием гравитационных сил, вводы подъемных, рециркуляционных и пароотводящих труб в поперечном сечении коллектора, если возможно, нужно размещать в следующем порядке:

— подъемных — ближе к средней образующей коллектора;

— рециркуляционных — по нижней образующей;
— пароотводящих — по верхней образующей коллектора.

3.3. С увеличением сечения рециркуляционных труб суммарный расход воды по контуру сначала увеличивается, а затем стабилизируется. Оптимальное относительное (по отношению к подъемным) сечение рециркуляционных труб близко к величине $30 \pm 5\%$.

Диаметр рециркуляционных труб может выбираться в пределах от диаметра подъемных труб, до диаметра коллектора:

$$d_{\text{под}} \leqslant d_{\text{рец}} \leqslant d_{\text{кол}}.$$

3.4. Наибольший эффект от применения рециркуляционных труб, характеризуемый увеличением суммарного расхода воды по контуру, достигается при размещении их вводов вне активной зоны коллектора (см. ниже п. 3.6) и смещении в том же направлении штуцеров пароотводящих труб.

Увеличение пропускной способности рециркуляционных труб при торцевом их расположении обеспечивается улучшением условий разделения смеси в собирающем коллекторе за счет возникновения в нем однонаправленного продольного тока смеси и ее расслоения.

3.5. Смещенные к торцам верхнего коллектора вводы рециркуляционных и пароотводящих труб должны располагаться в следующем порядке: первой от торца коллектора устанавливается рециркуляционная труба, затем — крайняя пароотводящая и далее — подъемные трубы; при этом расстояние от крайней подъемной трубы до смещенной к торцу рециркуляционной (l_1) должно быть не менее $1{,}5\,d_{\text{кол}}$, а от рециркуляционной до крайней пароотводящей (l_2) не менее $d_{\text{кол}}$ (см. черт. 2).

3.6. Активной зоной верхнего коллектора называется часть его, в пределах которой размещаются вводы подъемных труб. Длина активной части $l_{\text{ак}}$ равна сумме расстояния между осями крайних подъемных труб и их диаметра:

$$l_{\text{ак}} = l_{\text{ос. под}} + d_{\text{под}}.$$

3.7. При расположении рециркуляционных труб вне активной зоны собирающего коллектора их должно быть не более одной на каждый торец.

3.8 Для предотвращения гидравлической разверки в подъемных трубах размещение пароотводящих труб только на торцах (или на торце) коллектора допускается при относительно небольшой его длине.

Длина активной части собирающего коллектора, не занятая пароотводящими трубами и отсчитываемая в одном направлении движения смеси, должна быть не более $7\,d_{\text{кол}}$, а не занятая рециркуляционными трубами, при той же системе отсчета, — не более $10\,d_{\text{кол}}$.

3.9. При ограниченной высоте циркуляционного контура и значительном развитии его в длину ($h_{\text{к}} < 4$ м и $l_{\text{ак}} \geqslant h_{\text{к}}$), а также при

больших удельных паровых нагрузках собирающего коллектора, $V_к'' > 2$ (м³/с)/м³ торцевые рециркуляционные трубы целесообразно выполнять с таким же диаметром, что и коллекторы, по возможности соединяя их плавными переходами (см. черт. 2, *е*).

3.10. В контурах с вертикальным или наклонным расположением коллекторов торцевые рециркуляционные трубы целесообразно выполнять с таким же диаметром, что и коллекторы.

3.11. Если конструктивно вводы рециркуляционных труб нельзя расположить по торцам собирающего коллектора, то их можно разместить равномерно по его длине, избегая при этом непосредственного расположения рециркуляционных труб под пароотводящими. Диаметр рециркуляционных труб при этом необходимо выбирать близким к диаметру подъемных труб.

3.12. Установка в рециркуляционных трубах дроссельных шайб или каких-либо регулирующих устройств с целью уменьшения захвата и сноса в них пара, как показал практический опыт, положительного эффекта не дает.

3.13. Переход на больший диаметр перед вводом рециркуляционных труб в верхний коллектор целесообразен при торцевом расположении труб.

3.14. Установка лючковых затворов, выступающих внутрь собирающего коллектора и загромождающих верхнюю часть его объема, ухудшает условия разделения пароводяной смеси в нем. Применение таких лючков в схемах с торцевым расположением рециркуляционных труб недопустимо. Они допустимы в схемах с равномерным распределением рециркуляционных труб по коллектору при относительно малых паровых нагрузках: $V_{кол}'' < 0{,}5$ (м³/с)/м³.

Загроможденность объема коллектора лючками должна учитываться при определении его проходных сечений.

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ

4.1. Расчет циркуляции воды в контуре с рециркуляционными трубами должен выполняться в соответствии с «Нормативным методом», согласно которому скорость воды в рециркуляционных трубах (в их нижних участках) определяется по формуле

$$w'_{рец} = \sqrt{\frac{S_{пол} - \Delta p_{нив}}{z\gamma'} \cdot 2g}$$

4.2. Нивелирное сопротивление рециркуляционных труб определяется из следующей зависимости:

$$\Delta p_{нив} = \bar{\varphi}_{рец} (\gamma' - \gamma'') h_к.$$

4.3. В «Нормативном методе» в зависимости от паровой нагрузки единицы объема верхнего коллектора $V_{кол}''$ даны единые,

осредненные для разных конструкций и схем циркуляционных контуров, значения $\varphi_{\text{рец}}$.

В отличие от этого в данном РТМ в порядке уточнения соответствующего раздела «Нормативного метода» значения $\varphi_{\text{рец}}$ даны дифференцированно для разных схем и конструкций контуров.

4.4. Определение $\varphi_{\text{рец}}$ производится по графикам, представленным на черт. 2, в зависимости от паровой нагрузки верхнего коллектора, характеризуемой приведенной скоростью пара в его диаметральном сечении (определяющей для горизонтального или слабо наклонного положения коллектора) и приведенной осевой скоростью пара в среднем сечении активной части коллектора, при вертикальном его положении.

4.5. Приведенная скорость пара в диаметральном сечении горизонтального или наклонного коллектора определяется по формуле

$$w''_{\text{д.с}} = \frac{D}{3600 l_{\text{ак}} d_{\text{кол}} \gamma''}.$$

4.6. Приведенная осевая скорость пара в среднем сечении активного участка вертикального коллектора определяется по формуле

$$w''_{\text{о.с}} = \frac{D/2}{3600 \cdot 0{,}785 \cdot d^2_{\text{кол}} \gamma''}.$$

4.7. Размерные коэффициенты A, B и C определяются по следующим формулам:

$$A = \left[\frac{1}{\sqrt[4]{\frac{g^2\sigma(\gamma'-\gamma'')}{\gamma''^2}}}\right]^{0,7}\left[\frac{\sigma}{(\gamma'-\gamma'')\,0{,}0396}\right]^{0,25}(\gamma''/\gamma')^{1,1};$$

$$B = \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{g^2\sigma(\gamma'-\gamma'')}{\gamma''^2}}}\,\frac{\sigma}{(\gamma'-\gamma'')\,0{,}0225}(\gamma''/\gamma')^{1,1};$$

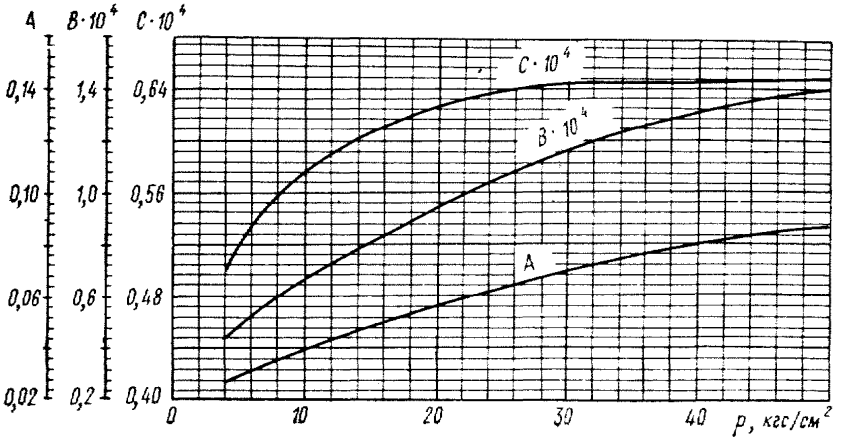
$$C = \left[\frac{1}{\sqrt[4]{\frac{g^2\sigma(\gamma'-\gamma'')}{\gamma''^2}}}\right]^{0,37}\frac{\sigma}{(\gamma'-\gamma'')\,0{,}0396}(\gamma''/\gamma')^{0,1}$$

или в зависимости от давления по вспомогательным графикам, представленным на черт. 3. Графики для возведения в степень значений $w''_{\text{д.с}}$ даны на черт. 4.

4.8. Представленные на черт. 2 две зависимости $\varphi_{\text{рец}}$ от $w''_{\text{д.с}}$, соответствуют вспениваемой и невспениваемой котловой воде.

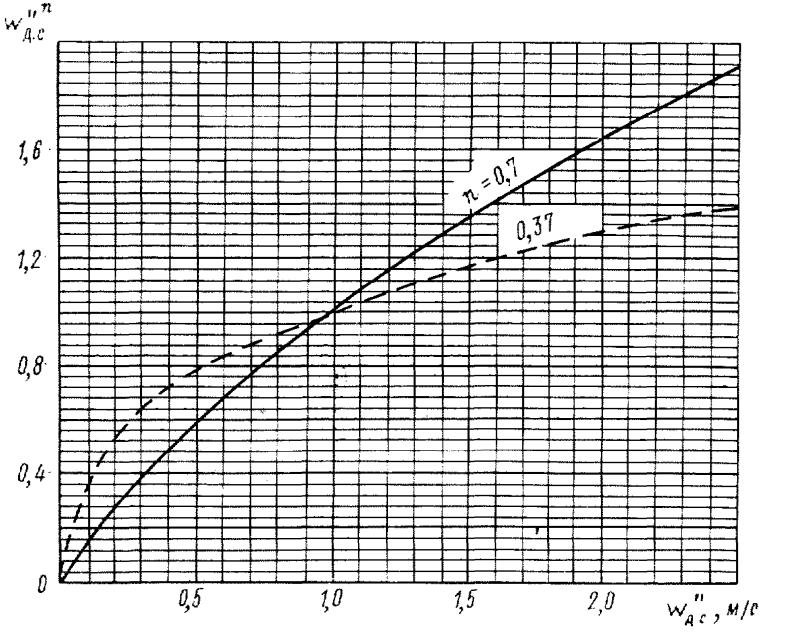
4.9. Расчетные (приближенные) значения необходимых для пользования графиками черт. 2 критических солесодержаний кот-

Размерные коэффициенты: $A\left(\frac{с}{м}\right)^{0,7}$; $B\left(\frac{с}{м}\right)$; $C\left(\frac{с}{м}\right)^{0,37}$



Черт. 3

Приведенная скорость пара в диаметральном сечении верхнего коллектора в степени 0,7 и 0,37



Черт. 4

ловой воды по вспениваемости в зависимости от давления даны в следующей таблице:

p, кгс/см^2	$S_{к.в}$, мг/кг
14	3000
24	2000
43	1200

5. КРАТКИЕ ПОЯСНЕНИЯ РЕКОМЕНДУЕМЫХ СХЕМ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ КОНТУРОВ

5.1. На черт. 2 представлены наиболее распространенные и перспективные схемы контуров с рециркуляционными трубами, отличающиеся между собой взаимным расположением вводов подъемных, рециркуляционных и пароотводящих труб в верхнем собирающем коллекторе, а также расположением самого коллектора.

5.2. Схемы на черт. 2, *а* и 2, *б* отличаются равномерным распределением труб разных назначений по длине коллектора. Диаметр рециркуляционных труб в этом случае целесообразно выбирать близким к диаметру подъемных труб. Из зависимостей $\varphi_{рец} = f(\omega''_{д.с})$ видно, что предпочтительнее размещение вводов рециркуляционных труб по схеме, указанной на черт. 2, *б*.

5.3. Контур, представленный на черт. 2, *в*, обычно применяется в котлах с угловыми рециркуляционными трубами, дополнительно выполняющими роль каркаса. С точки зрения размещения вводов рециркуляционных труб (непосредственно под пароотводящими) эта схема в сравнении с другими менее удачна.

5.4. Контуры, указанные на черт. 2, *г* и *е*, не имеют вводов пароотводящих и рециркуляционных труб в активной зоне верхнего коллектора. Из всех схем с горизонтальным расположением верхнего коллектора они наиболее эффективны.

5.5. Контур, показанный на черт. 2, *д*, помимо пароотводящих труб, сдвинутых к торцу, имеет такие трубы в активной зоне коллектора и по эффективности несколько уступает контурам по схемам *г* и *е*.

5.6. Наклон верхнего коллектора в сторону рециркуляционной трубы в контуре по схеме, представленной на черт. 2, *ж*, благоприятно влияет на условия циркуляции, но разные направления потоков (в сторону барабана и к рециркуляционной трубе) ухудшают условия разделения смеси в коллекторе и приводят к повышенному сносу пара.

5.7. В случае вертикального расположения коллекторов (черт. 2, *з*) их целесообразно соединить рециркуляционной трубой того же диаметра; при этом следует отметить, что условия разде-

ления смеси в одном и том же коллекторе хуже при вертикальном его расположении по сравнению с горизонтальным.

5.8. Сопоставление различных схем короткозамкнутых контуров, представленных на черт. 2, следует производить по величине $\varphi_{рец}$, соответствующей одной и той же паровой нагрузке, или по величине максимальной паровой нагрузки, при которой $\varphi_{рец}=0$.

5.9. Для всех представленных на черт. 2 схем контуров с рециркуляционными трубами справедливо положение: чем больше диаметр верхнего коллектора, тем лучше условия входа в рециркуляционные трубы и тем больший расход воды можно пропустить по ним.

6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОМПОНОВКЕ ПАРООТВОДЯЩИХ ТРУБ

6.1. Для различных схем циркуляционных контуров и короткозамкнутых контуров с рециркуляционными трубами большое значение имеет длина пароотводящих труб и их расположение в пространстве. Пароотводящие трубы обычно имеют восходящий (наклонный или вертикальный) и горизонтальный участки, которые выполняются, как правило, необогреваемыми. Желательно, чтобы длина прямых горизонтальных участков пароотводящих труб $l_{отв}$ непосредственно перед вводом их в барабан или сепаратор солевого отсека составляла не менее

$$l_{отв} \geqslant 10 d_{отв} \quad \text{при } d_{отв} > 100 \text{ мм};$$
$$l_{отв} \geqslant 15 d_{отв} \quad \text{при } d_{отв} \leqslant 100 \text{ мм}.$$

6.2. Выполнение пароотводящих труб с прямым горизонтальным участком способствует расслоению потока пароводяной смеси, что значительно повышает возможности сепарационных устройств, снижает их гидравлическое сопротивление и всего контура в целом. Расслоенный режим течения смеси в пароотводящих трубах при отсутствии обогрева не снижает надежности этих элементов контура.

6.3. При вводе расслоенных потоков пара и воды конструкция первичных внутрибарабанных сепарационных устройств может быть предельно упрощена (направляющие щиты и козырьки, жалюзийно-дроссельная стенка,) однако при этом необходимо выполнение следующих условий:

— средний уровень воды в барабане должен находиться на 100—200 мм ниже вводов пароотводящих труб;

— схема организации сепарации не должна допускать вторичного перемешивания предварительно разделенных потоков пара и воды.

При проектировании котлоагрегатов следует иметь в виду, что с увеличением высоты циркуляционных контуров необходимость в применении рециркуляционных труб уменьшается. Вопрос о целесообразности их установки окончательно решается на основании расчета циркуляции в соответствии с «Нормативным методом» и настоящим РТМ.

Ответственный за выпуск *В. С. Розанова.*

Редактор *Г. Д. Семенова*

Техн. ред. *Н. П. Белянина.* Корректор *С. М. Косенкова.*

Сдано в набор 20.12.75. Подписано к печ. 2.02.76. Формат бум. 60×90 1/16.
Объем 3/ п.л. (1 усл. п. л.). Тираж 800. Заказ 952. Цена 20 коп.

gost.e-ecolog.ru

Редакционно-издательский отдел ЦКТИ им. И. И. Ползунова
194021, Ленинград, Политехническая ул., д. 24.