

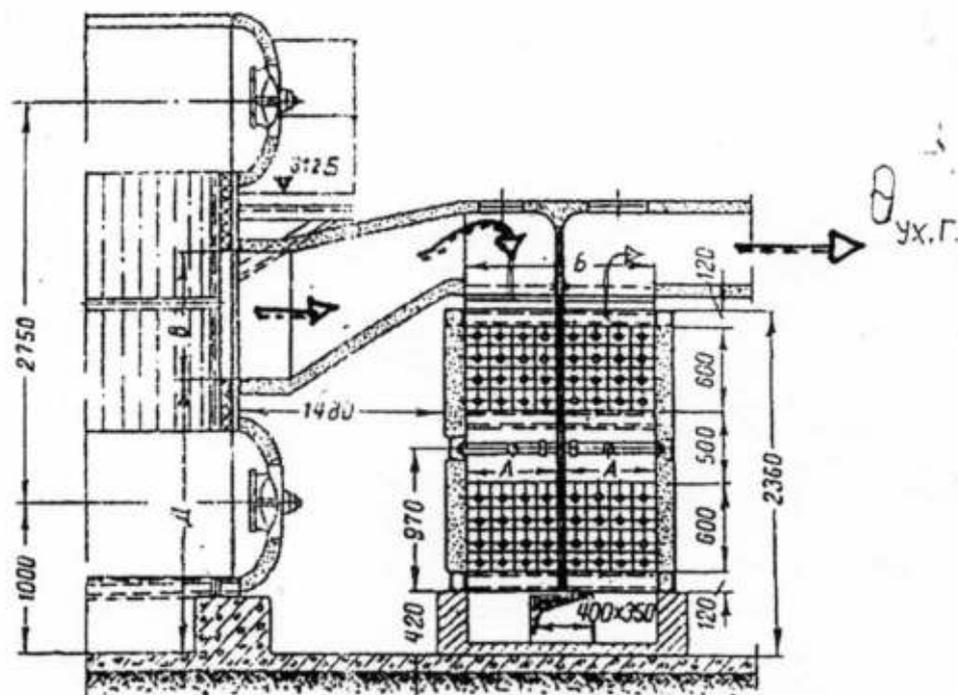
Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ)

Институт инженерно-экологических систем и сооружений
Кафедра теплогазоснабжения

Водяные экономайзеры котельных агрегатов

Методическая разработка для студентов очной и заочной форм обучения специальностей 140104.65 Промышленная теплоэнергетика, 270109.65 Теплогазоснабжение и вентиляция, 280101.65 Безопасность жизнедеятельности в техносфере, 200503.65 Стандартизация и сертификация, 270115.65 Экспертиза и управление недвижимостью.



Нижний Новгород
ННГАСУ
2011

УДК 697.32.001.24/075.8/

Водяные экономайзеры котельных агрегатов [Текст]: методическая разработка для студентов очной и заочной форм обучения специальностей 140104.65 Промышленная теплоэнергетика, 270109.65 Теплогазоснабжение и вентиляция, 280101.65 Безопасность жизнедеятельности в техносфере, 200503.65 Стандартизация и сертификация, 270115.65 Экспертиза и управление недвижимостью. /Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет; сост. Г.М. Климов [и др.].- Ниж. Новгород: ННГАСУ, 2010.- 48 с: ил.

В методической разработке приведена информация о водяных рекуперативных экономайзерах из чугунных и стальных труб, об их устройстве и компоновке по газовому и водяному трактам в составе котельного агрегата и котельной установки, о схемах включения в водяной тракт котельного агрегата и котельной установки. Рассмотрены основные положения расчёта и проектирования водяных экономайзеров, даны примерные формы таблиц для оформления результатов расчёта, а также основные справочные данные, необходимые для расчётов. При составлении данной разработки учтен многолетний опыт по руководству курсовым и дипломным проектированием студентов различных котельных агрегатов и котельных установок. Приводимая в разработке информация может быть полезна инженерам специальности ТГВ.

Рис 30; Табл 12; Библиография 14 назв.

Составитель - Г.М. Климов

М.Г. Климов

Рецензент - Е.Н. Цой

Компьютерный набор – Е.В. Колпакова гр.395

СОДЕРЖАНИЕ

1. Низкотемпературные поверхности нагрева котлоагрегата (основные сведения)	4
1.1. Принципы компоновки низкотемпературных поверхностей нагрева котлоагрегата	5
1.1.1. Водяные экономайзеры	5
1.1.2. Воздухоподогреватели	7
2. Примерная методика расчёта и компоновка питательного водяного экономайзера	9
3. Технические характеристики рекуперативных водяных экономайзеров	14
3.1. Чугунные водяные экономайзеры	14
3.2. Стальные водяные экономайзеры	19
3.2.1. Стальные водяные экономайзеры для котлов с рабочим давлением до 24 кгс/см	19
3.2.2. давлением до 24 кгс/см	24
3.2.3. Методика расчёта теплообмена и компоновка поверхности нагрева стального водяного экономайзера	28
4. Примеры компоновок котлоагрегатов водяными чугунными экономайзерами по его газовому и водяному трактам	34
4.1. Водяной тракт котлоагрегата	34
4.2. Компоновка котлов с хвостовыми поверхностями нагрева по газовому тракту	38
4.2.1. Общие сведения о компоновке котлоагрегатов	38
4.2.2. Примеры компоновки чугунных водяных экономайзеров ВТИ с котлами ДКВр	39
4.2.3. Примеры размещения котлоагрегатов в здании котельной установки	43
5. Источники	45
6. Приложение А (справочное)	46

1. Низкотемпературные поверхности нагрева котлоагрегата (основные сведения)

Низкотемпературными называются поверхности котлоагрегата, расположенные последними по тракту дымовых газов. К ним относятся поверхности экономайзера и воздухоподогревателя. Здесь температура газов становится уже сравнительно низкой (400-200 °С). В этой зоне поверхности котлоагрегата подвергаются коррозии со стороны газового потока, увеличиваются загрязнения поверхности за счёт летучей золы и может возникнуть абразивный износ металла. Рабочие процессы в экономайзере и воздухоподогревателе протекают различно. Однако по условиям тепловой работы экономайзер и воздухоподогреватель взаимно связаны. Эти поверхности используют теплоту низкотемпературных продуктов сгорания, их размещают обычно последовательно в конвективной шахте. Общими задачами при конструировании этих поверхностей нагрева являются интенсификация теплообмена и создание компактных малогабаритных элементов с умеренной затратой металла, которые подвергались бы минимальным золовому износу, заносу и коррозионным повреждениям [9, 7, 5].

Паровые котлы низкого давления производительностью < 20 т/ч при сжигании всех видов топлива, кроме фрезерного торфа и древесных отходов, обычно оборудуются водяными экономайзерами; при сжигании фрезерного торфа и древесных отходов – воздухоподогревателями [8, 10]. Котлы, паропроводительностью 20-25 т/ч при сжигании влажных твердых топлив оснащаются экономайзером и воздухоподогревателем [9]. Хвостовые поверхности нагрева котлоагрегатов выносятся за пределы собственно котла. В целях интенсификации процесса горения топлива подогрев воздуха целесообразен при сжигании всех видов топлива [3...14]. В случаях, когда в действующих установках не обеспечиваются нормативные значения температуры уходящих из них дымовых газов (θ_{yx}), хвостовые поверхности, предусмотренные заводской компоновкой котла, пересматриваются [13].

Конвективная часть водогрейных котлов по условиям работы является экономайзерной поверхностью нагрева. Конструкция и схема включения конвективной части выбираются из условий предотвращения: при работе на твёрдом топливе - шлакования и износа конвективных поверхностей нагрева; при работе на мазуте и сернистых топливах – низкотемпературной коррозии. Последнее обеспечивается при оптимальных значениях θ_{yx} , при которых минимальная температура стенки обогреваемых труб не ниже 130 °С при температуре воды на входе в котлоагрегат 70-110°С, на выходе из котлоагрегата 150 °С постоянно. К водогрейным котлам КВ-ТС со

слоевым сжиганием при работе на бурых углях устанавливают вынесенные воздухоподогреватели [6].

Повышение к. п. д. котлоагрегатов достигается снижением θ_{yx} , которая ограничивается коррозионной устойчивостью хвостовых поверхностей нагрева и внешнего газового тракта. Для котлоагрегатов низкого и среднего давления θ_{yx} принимается не ниже значений, указанных в табл. 1, табл. 2 [8 с.174...175; 3; 4; 10...13].

Таблица 1. Температура уходящих газов для котлоагрегатов низкого давления

Топливо	$\theta_{yx}, ^\circ C$
Угли с приведённой влажностью $W^n < 3$ и природный газ	120-130
Угли, $W^n = 4-20$	140-150
Мазут	150-160
Торф и древесные отходы при установке воздухоподогревателя	170-190*

Таблица 2. Температура уходящих газов для котлоагрегатов среднего давления с $D > 75$ т/ч

При сжигании мазута и природного газа

Топливо	$\theta_{yx}, ^\circ C$
Мазут высокосернистый, $S^p > 2,0 \%$	150-160*
Мазут сернистый, $S^p = 0,5-2,0 \%$	130-140*
Мазут малосернистый, $S^p < 0,5\%$	110-120
Природный газ	110-120

Примечания: 1. Более низкие значения температур относятся к более дорогим топливам (европейская часть РФ, Урал). 2. Рекомендации табл. 2 даны исходя из условий предупреждения сернокислотной коррозии.

Для водогрейных котлоагрегатов, не охваченных рекомендациями, температура уходящих газов θ_{yx} , $^\circ C$, принимается из условий обеспечения надёжности работы конвективных поверхностей нагрева в зоне низких температур при сохранении среднегодового к.п.д. котлоагрегата. При этом расчётные значения θ_{yx} водогрейных котлоагрегатов должны быть сопоставимы с рекомендуемыми для паровых котлоагрегатов.

1.1 Принципы компоновки низкотемпературных поверхностей нагрева котлоагрегата

1.1.1 Водяные экономайзеры подразделяются: по материалу (стальные и чугунные); по типу поверхности нагрева (гладкотрубные и ребристые); по степени подогрева воды (кипящие и некипящие); по условиям компоновки (встроенные в конвективную шахту и отдельно стоящие: индивидуальные и групповые) [6...14].

Стальные экономайзеры гладкотрубные змеевиковые кипящего и некипящего типа применяются в паровых котлоагрегатах средней производительности среднего и низкого

давления, komponуются в конвективной шахте, выполняются из труб с наружным диаметром 28-38 мм, с шахматным или коридорным расположением. Шаги труб экономайзера между змеевиками S_1 и в направлении газового потока S_2 принимаются по рекомендациям. Змеевики присоединяются к камерам из труб диаметром 200-300 мм. Поверхность нагрева экономайзера разбивается на пакеты, устанавливаемые с разрывом по высоте 600 - 800 мм для монтажа блоками и очистки от золы. Высота пакета не более 1 м при $S_2/d < 1,5$ и не более 1,5 м при более редком расположении труб. Расстояние между соседними ступенями экономайзера и воздухоподогревателя составляет 800 мм [6, 10, 11].

При П-образной компоновке котлоагрегата плоскость змеевиков экономайзера располагается параллельно фронту при сжигании твёрдых топлив; при сжигании жидкого, газового и твёрдых малозольных топлив принимается поперечное расположение. Гидравлическое сопротивление экономайзера котлоагрегатов среднего давления не должно превышать 8% давления в барабане.

Скорость воды в некипящей ступени экономайзера принимают в пределах 0,3-1,5 м/с и не менее 1,0 м/с для ступени экономайзера с частичным испарением. **Стальные экономайзеры кипящего типа выполняются неотключаемыми как по газам, так и по воде. За экономайзером запорная арматура не ставится. Запорный орган, обратный клапан и регулятор питания устанавливаются на питательных трубопроводах перед экономайзером (см. рис. 19в; 28), [6, 9, 7].**

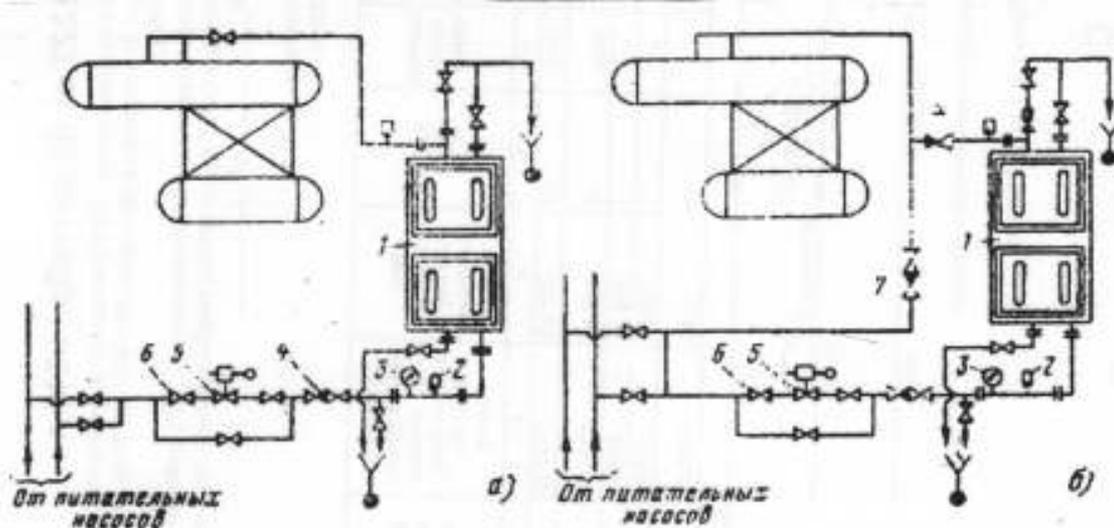
Котлоагрегаты малой производительности обычно комплектуются блочными чугунными водяными экономайзерами Кусинского машиностроительного завода. Блочные экономайзеры собираются из чугунных ребристых труб системы ВТИ на металлическом каркасе, соединенных дугами (отдельные трубы) и калачами (группы); скомпонованы из последовательных по ходу газов колонок. Колонки выполнены в общей двойной металлической обшивке с соевитовыми плитами внутри и со стальной перегородкой между колонками. Экономайзеры герметичны и пригодны для работы под наддувом [6, 9].

Индивидуальные чугунные экономайзеры выполняются неотключаемыми по воде и газам у котлоагрегатов с непрерывным питанием, регулируемым автоматическим регулятором питания, установленным на входе воды в экономайзер. Температура воды на выходе из некипящих экономайзеров должна быть не менее чем на 20 С ниже температуры насыщенного пара в котлоагрегате [2, 5, 11].

Экономайзеры питательной воды газомазутных котлоагрегатов включаются без арматуры между котлом и экономайзером и без стонных линий или других устройств для рециркуляции воды мимо экономайзера (рис. 1, а). Для котлоагрегатов, работающих на

твёрдых топливах с топками с большой тепловой инерцией, в схеме питания предусматривается обводная линия, используемая для подпитки КА при разрыве трубы экономайзера (рис.1,б).

Эти положения легли в основу разработанной в 1962 г. серии блочных транспортёрных экономайзеров, выпускаемых Кусинским машиностроительным заводом. В состав блочных транспортёрных экономайзеров входят: чугунные трубы с



соединительными калачами, смонтированными на каркасе, обдувочные устройства, арматура, обшивка и облегченная обмуровка [11, 10, 9, 8].

Рис. 1. Схемы включения чугунных экономайзеров питательной воды к котлоагрегатам ДКВр, КЕ и ДЕ [8, Рис.9-22, с.177]

а - газомазутным; б - на твёрдом топливе; 1 - экономайзер; 2 - термометр; 3 - манометр; 4 - обратный клапан; 5 - регулирующий клапан; 6 - задвижка (вентиль); 7 - обводная линия.

1.1.2 Воздухоподогреватели по принципу передачи теплоты делятся на рекуперативные, с передачей теплоты от продуктов сгорания к воздуху через неподвижную поверхность нагрева и регенеративные, в которых процесс передачи теплоты осуществляется путём аккумуляции теплоты набивкой при нагревании её в потоке газов и передачи потоку воздуха: для этого ротор воздухоподогревателя с помещённой в нём набивкой вращается, обеспечивая попеременное омывание набивки потоками газов и воздуха [8, 9, 5, 6].

Воздухоподогреватель работает в условиях наименьших температурных напоров между греющими продуктами сгорания и нагреваемым воздухом; здесь самый низкий коэффициент теплопередачи. Поэтому его поверхность нагрева превышает суммарную поверхность нагрева всех элементов водопарового тракта и для котла мощного блока достигает десятков и сотен тысяч квадратных метров.

Продукты сгорания в зависимости от влажности топлива и содержания в нём водорода (мазут, природный газ) обычно содержат большое количество водяных паров, а также трёхатомных газов (CO_2 и SO_2). Усредненная теплоёмкость объёма - произведение удельного объёма V_2 м³/кг, на теплоемкость c'_2 кДж/(м³К), ($V_2 \cdot c'_2$) оказывается всегда больше чем усредненная теплоёмкость нагреваемого воздуха ($V_6 \cdot c'_2$), так как $V_2 > V_6$ из-за присосов по газовому тракту и наличия водяных паров, а $c'_2 > c'_6$ поскольку в газовом потоке больше трёхатомных газов, обладающих более высокой теплоёмкостью.

Тепловосприятие поверхности по обеим рабочим средам:

$$Q_{ВП} = (Vc')_r \cdot \Delta\vartheta = (Vc')_B \cdot \Delta t_B \quad (1)$$

где $\Delta\vartheta$ и Δt_B - изменение температуры газов и воздуха при прохождении поверхности воздухоподогревателя, °С. В результате **воздух в воздухоподогревателе нагревается быстрее, чем охлаждаются в нём продукты сгорания**. Так, для маловлажного топлива в среднем при охлаждении продуктов сгорания на 1 °С воздух нагревается примерно на 1,2 °С, а для влажного на 1,4 °С. Эти соотношения приводят к тому, что по мере нагрева воздуха температурный напор, определяющий интенсивность теплообмена, уменьшается и на горячем конце воздухоподогревателя достигает минимального значения (**рис. 2**). **Экономически оправданной является разность температур $\Delta t = \vartheta'_r - t''_B$ не менее 30-40 °С**. Дальнейшее повышение температуры горячего воздуха t''_B уже невыгодно из-за очень вялого теплообмена в горячей части воздухоподогревателя, что требует заметного увеличения размеров поверхности. Таким образом, чтобы получить более высокую температуру горячего воздуха (при той же начальной температуре холодного воздуха), надо иметь более высокую температуру газов на входе в воздухоподогреватель за счёт, например, уменьшения поверхности экономайзера. Но тогда увеличивается температура уходящих газов, т.е. возрастёт потеря теплоты. **В связи с этим при последовательной компоновке поверхностей экономайзера и воздухоподогревателя, называемой, одноступенчатой компоновкой, имеет место ограничение температуры подогрева воздуха по условиям экономичности работы котлоагрегата. Предельная температура подогрева воздуха зависит от вида топлива и составляет 250-350 °С (большая температура для сильновлажных топлив с повышенным объёмом продуктов сгорания).**

Для подогрева до более высокой температуры (350-450 °С) воздухоподогреватель **выполняют двухступенчатым, располагая часть поверхности экономайзера между этими ступенями (рис. 2)**. Сущность двухступенчатой схемы заключается в увеличении температурного напора Δt на выходном (по воздуху) конце воздухоподогревателя в

результате переноса его горячей (второй) ступени в область более высокой температуры продуктов сгорания. Это позволяет сохранить температуру уходящих газов на достаточно низком уровне.

Воздухоподогреватель выполняют из углеродистой стали, для которой максимально допустимая температура металла не превышает 500 °С, что при температуре подогрева воздуха до 400 °С соответствует температуре продуктов сгорания не более 600 °С.

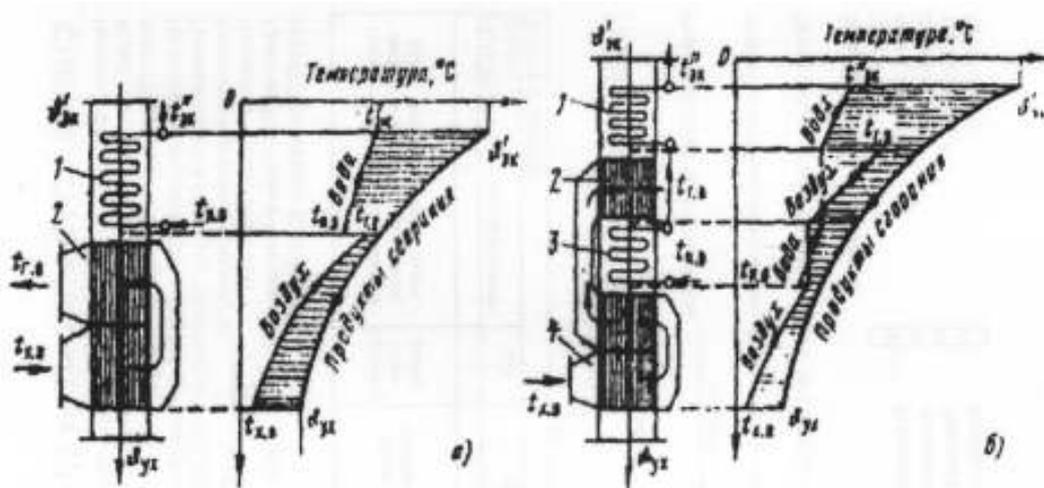


Рис.2. Схемы компоновок низкотемпературных поверхностей нагрева в конвективной шахте. а - одноступенчатая; 1- экономайзер.2- воздухоподогреватель; б - двухступенчатая; 1 и 3 - вторая и первая ступени экономайзера; 2 и 4 - то же воздухоподогревателя.

При двухступенчатой компоновке воздухоподогревателя и водяного экономайзера (см. рис.2б) заметно увеличивается высота конвективной шахты, растут монтажные затраты, поэтому такая схема применяется только для топлив, которые не допускают для экономичного сжигания подогрева воздуха в одной ступени.

Минимальные скорости дымовых газов $\omega_{дг}$ по условию предотвращения заноса поверхностей нагрева: для поперечно омываемых пучков 6 м/с, при продольном омывании 8м/с. Оптимальные скорости дымовых газов $\omega_{дг}$ при сжигании газа и мазута 13-14м/с; при работе под наддувом $\omega_{дг}$ на всех топливах может быть принята на 10% выше указанных.

2. Примерная методика расчёта и компоновка водяного питательного экономайзера

Общие вопросы расчёта, конструирования и компоновки водяных экономайзеров приведены в [1, 2, 3, 9], с которыми необходимо ознакомиться, прежде чем приступить к расчёту водяного экономайзера (В.Э.). **Задачи и методика расчёта зависят от его компоновки в котельном агрегате.**

При проектировании встречаются наиболее часто следующие случаи компоновки:

- 1) к установке принят только один В.Э. (индивидуальный или групповой);
- 2) к установке приняты В.Э. и В.П. (индивидуальные или групповые) при одноступенчатой их компоновке, причём первым по ходу газов установлен В.Э. [13, 14].

Порядок расчёта чугунного питательного В.Э. некипящего типа при первом случае компоновки приводится ниже в форме таблицы 3. Это самый распространённый случай в производственно-отопительных котельных. В этом случае к расчёту В.Э. приступают только после определения температуры дымовых газов на выходе из второго газохода (котельного пучка), или на выходе из котла - $\theta_{II}'' = \theta_{\kappa}, ^{\circ}C$.

Таблица 3. Порядок расчёта водяного питательного экономайзера из чугунных ребристых труб конструкции ВТИ (примерная форма таблицы) [13, 14]

Величина	Обозначение	Ед. измерения	Расчетная формула или способ определения	Результат
1	2	3	4	5
1. Температура дымовых газов на выходе из котла	θ_{κ}	$^{\circ}C$	$\theta_{II}'' = \theta_{\kappa}$	.....
2. Температура дымовых газов на входе в ВЭ	θ_{γ}'	$^{\circ}C$	$\theta_{\gamma}' = \frac{\theta_{\epsilon}' \cdot \alpha_{\epsilon}' + (\alpha_{\gamma}' - \alpha_{\epsilon}') \cdot t_{\dot{a}}}{\alpha_{\gamma}'}$	.....
на выходе из ВЭ	θ_{γ}''	$^{\circ}C$	$\theta_{\gamma}'' = \theta_{\gamma\epsilon}''$ при одноступенчатой компоновке экономайзера	.....
3. Коэффициент избытка воздуха на входе в ВЭ	α_{γ}'	-	$\alpha_{\gamma}' = \alpha_{\kappa} + \Delta\alpha_{\text{зас}}$	.....
на выходе из ВЭ	$\alpha_{\gamma\epsilon}''$	-	$\alpha_{\gamma\epsilon}'' = \alpha_{\gamma}'' = \alpha_{\gamma}' + \Delta\alpha_{\gamma}$	.....
4. Энтальпия дымовых газов на входе в ВЭ	H_{γ}'	кДж/кг	по H, θ -диаграмме при α_{γ}' и θ_{γ}' ;	$\dot{I}_{\gamma}' = \dots\dots$
на выходе из ВЭ	H_{γ}''	кДж/кг	по H, θ -диаграмме при $\alpha_{\gamma}'' = \alpha_{\gamma\epsilon}''$ и $\theta_{\gamma}'' = \theta_{\gamma\epsilon}''$	$\dot{I}_{\gamma}'' = \dots\dots$
5. Теплота, отданная дымовыми газами, где: $\Delta\alpha_{\gamma} = \alpha_{\gamma}'' - \alpha_{\gamma}'$	Q_{γ}	кДж/кг	$Q_{\gamma} = \varphi \cdot \mu \cdot (H_{\gamma}' - H_{\gamma}'' + \Delta\alpha_{\gamma} \cdot H_{\epsilon}^0)$	.....
	φ		$\varphi \approx 1 - 0,01 \cdot q_5 = \dots\dots\dots$	.....
$\mu = 0,9$ - при одинарных шибергах; $\mu = 0,95$ - при двойных шибергах; $\mu = 1$ - без обводного газохода.				
6. Средний объем дымовых газов	V_{γ}^{cp}	м ³ /кг	$V_{\gamma}^{cp} = 0,5 \cdot [V_{\gamma}' + V_{\gamma}'']$ V_{γ}' , при α_{γ}' ; V_{γ}'' , при α_{γ}''	.....
7. Средняя температура газового потока	θ	$^{\circ}C$	$\theta = 0,5 \cdot (\theta_{\gamma}' + \theta_{\gamma}'')$	.....
8. Средний секундный расход газов	$V_{сек}^{cp}$	м ³ /сек	$V_{сек}^{cp} = \frac{B_{KA} V_{сек}^{cp} \cdot (\theta + 273)}{273 \cdot 3600} \cdot \mu =$	.....
При групповом экономайзере вместо B_{KA} подставляют $B_{KA} \cdot n$, где n – число котлов, подключенных к ВЭ.				

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5
9. Средняя скорость дымовых газов (предварительная)	W_3^{cp}	м/сек	Принимаем в пределах 6-10 м/сек	.....
10. Живое сечение для прохода газов (предварительное)	$F'_{жс}$	м ²	$F'_{жс} = \frac{V_{сек}^{cp}}{W_3^{cp}} =$	.....
11. Длина трубы ВЭ, ее поверхность нагрева, живое сечение	l $H_{тр}$ $f_{жс}$	м м ² м ²	Принимаем по приводимым ниже данным.	.....
12. Число труб в одном ряду (предварительное)	z_1'	шт.	$z_1' = \frac{F'_{жс}}{f_{жс}} =$	.....
13. Число труб в одном ряду действительное	z_1	шт.	z_1' - округляют до целого z_1 z_1 может быть от 8...10.	.....
14. Действительное живое сечение проходу газов	$F_{жс}$	м ²	$F_{жс} = f_{жс} \cdot z_1 =$	.....
15. Действительная средняя скорость дымовых газов	W	м/сек	$W = \frac{V_{сек}^{cp}}{F_{жс}} =$	.....
16. Температура воды на входе в ВЭ	t_3'	°C	Принята раньше	.....
17. То же на выходе из ВЭ	t_3''	°C	$t_3'' = t_3' + \frac{B_{КА} \cdot Q_3}{4,19 \cdot D_3} =$	.....
где: при групповом ВЭ вместо $B_{КА}$ подставляют $B_{КА} \cdot n$, кг/час, а $D_3 = D_{нат}^p \cdot n$, кг/час; при индивидуальном ВЭ $D_3 = D_{нат}^p$ кг/час; D_3 – количество воды, проходящей через экономайзер. Более точно [1, 2, 11].				
18. Среднелогарифмический температурный напор (может быть определен по графику, стр.48; $\Delta \bar{t} = 0,9 \Delta \bar{t}_{i0}$).	$\Delta \bar{t}$	°C	$\Delta \bar{t} = 0,9 \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{2,31 \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}} =$	..... $\Delta t_a = \theta_y' - t_y''$ $\Delta t_i = \theta_y'' - t_y'$
При $\Delta t_a / \Delta t_i \leq 1,7$	$\Delta \bar{t}$	°C	$\Delta \bar{t} = 0,45(\Delta t_{\delta} + \Delta t_m) =$	.....
19. Коэффициент теплопередачи	K_3	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{C}}$	$K_3 = K_n \cdot C_{\theta}$ $K_3 = K_n \cdot C_m (1 - a)$	при сжигании мазута учесть примечание
19.1 по номограмме	K_n	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{C}}$	см. ниже номограмма 5	.....
поправочный коэффициент	C_v			.....
20. Поверхность нагрева ВЭ (предварительная)	H_3'	м ²	$H_3' = \frac{B_{КА} Q_3}{K_3 \Delta \bar{t}} =$	.....
см. ниже....				
21. Предварительно принимаем длину одной трубы	$l_{тр}$	м	Принимаем $l_{тр} = 2$ или 3 м., тогда $H_{1тр} = 2,95 \text{ м}^2$ или $4,49 \text{ м}^2$	.....
22. Общее количество труб в экономайзере	z	шт.	$z = \frac{H_3'}{H_{1тр}} =$	.....

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5
23. Количество рядов труб ВЭ по ходу газов (предварительное)	z_2'	рядов	$z_2' = \frac{z}{z_1} =$ z_2' округляют до целого числа z_2	.....
24. Действительное число рядов труб по ходу газов	z_2	рядов	Обычно до 10 рядов по высоте. При большем количестве ВЭ компонуют в две колонки.	.....
25. Действительное число труб ВЭ, поверхность нагрева ВЭ	z $H_э$	шт. m^2	$z = z_1 \cdot z_2 =$ $H_э = H_{1mp} \cdot z =$	.....
26. Число обдувочных аппаратов	-	шт.	Для удобства обдувки ВЭ компонуются из секций. Один обдувочный аппарат может обслуживать по вертикали – 4 ряда труб, по горизонтали – до 8.	
Таким образом, средняя секция может состоять из 8 рядов по вертикали. Между секциями для обдувочных аппаратов оставляют расстояние 500-600мм (680мм)				
27. Шаг труб в группе	S	мм	Для труб конструкции ВТИ – $S = 150\text{мм}$	.....
28. Размер фланцев ребристых труб ВТИ	$a \times b$	мм	Обычно 150x150мм	.....
29. Диаметр труб	$d_n / d_э$	мм		76/60
30. Размер ребер	$a \times b$	мм	Обычно 146x146мм	.....

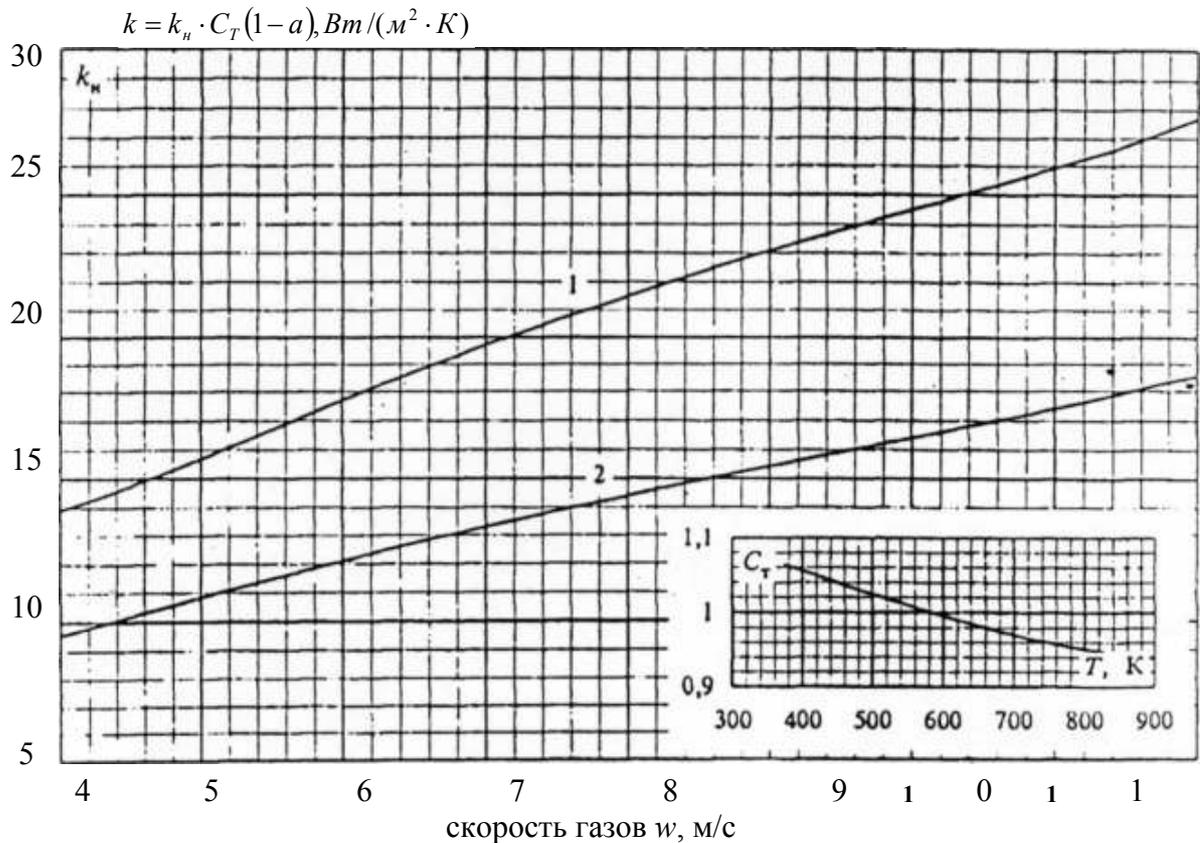
После расчёта необходимо вычертить на миллиметровой бумаге компоновочный чертёж В.Э., который окажет большую помощь при выполнении графической части проекта котлоагрегата.

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Полученная расчётом $t_э'' = \dots \text{ } ^\circ\text{C}$ для некипящего питательного экономайзера из труб ВТИ должна быть: а) для группового экономайзера не менее чем на 40°C ниже температуры насыщения пара при рабочем давлении в котле, т.е. $t_э'' \leq t_{нм} - 40^\circ\text{C}$ б) для индивидуального ВЭ – 20°C , т.е. $t_э'' \leq t_n - 20^\circ\text{C}$.

Если выяснится недопустимый нагрев воды, то: а) В.Э. проектируется из стальных труб диаметром 0,25 - 42 мм [10, 13, 9] или принимается 2 - ступенчатая компоновка В.Э., причём первая ступень его проектируется из стальных или чугунных ребристых труб, а вторая - кипящей из стальных труб; в) изменяется температура уходящих газов $\theta_{yx} = \theta_э \dots \text{ } ^\circ\text{C}$ в экономически выгодных пределах [9, 3] и весь предыдущий расчёт котлоагрегата уточняется, или г) дополнительно за В.Э. устанавливают В.П., т.е. принимают второй случай компоновки хвостовых поверхностей нагрева КА. 2. При компоновке В.Э. из труб конструкции ВТИ используют указания из [1, 2, 11, 4, 7, 8, 9].

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧУГУНЫХ РЕБРИСТЫХ ЭКОНОМАЙЗЕРОВ

Номограмма 5



1 - экономайзер ВТИ и экономайзер из труб с дополнительным продольным ребрением
2 - экономайзер ЦККБ.

Топливо	Очистка	Коэффициент a
Мазут	Паровые обдувочные аппараты	0,25
	Газоимпульсная рчистка (ГИО)	0,2
Твердое топливо в слое	Паровые обдувочные аппараты	0,1
	Газоимпульсная рчистка (ГИО)	0,05

Рис. 5. Коэффициент теплопередачи чугунных ребристых экономайзеров [4]

3. По полученным расчётным величинам N_3 , z_1 и z_2 нужно попытаться подобрать питательный блочный заводской компоновки экономайзер. Блочные транспортабельные водяные питательные экономайзеры выпускаются, Кусинским машиностроительным заводом восьми типоразмеров [11, 15, 16]. **Поверхность нагрева блочного экономайзера, принимаемого к установке, должна отличаться от расчётной не более чем на $\pm 2\%$.**

При установке блочного питательного В.Э. нужно проверить и уточнить температуры θ_3'' и t_3'' , которые не должны отличаться от расчётных более чем на $\pm 8-10^\circ\text{C}$. При невозможности подбора блочного питательного В.Э., экономайзер комплектуется согласно полученным расчётным данным.

3. Технические характеристики водяных экономайзеров

3.1 Чугунные водяные экономайзеры низкого давления применяются в основном в котлоагрегатах малой и средней мощности. Чугунные экономайзеры надёжны в работе, стойки по отношению к газовой и кислородной коррозии, однако имеют большие габариты и повышенную массу, дороже гладкотрубных и подвергаются более интенсивному загрязнению золой.

Кусинский машиностроительный завод изготавливает чугунные экономайзеры системы ВТИ. Эти экономайзеры собираются на месте монтажа из ребристых труб с поверхностью нагрева с газовой стороны 2,95 и 4,49 м² длиной 2,0 и 3,0 м, соединительных калачей, коллекторов. В ЦКТИ совместно с Кусинским машиностроительным заводом разработана серия блочных водяных экономайзеров для котлоагрегатов с давлением 2,3 МН/м².

Блочные экономайзеры отличаются высокой герметичностью, что позволяет применять их и для котлоагрегатов под «наддувом». Давление газа в межтрубном пространстве экономайзера может достигать до 300 даН/м².

Блочные экономайзеры komponуются из чугунных ребристых труб системы ВТИ длиной 2 и 3 м. в облегченной обмуровке и обшивке. В горизонтальном ряду устанавливают от 2 до 9 труб. Горизонтальные ряды труб (до 8) собираются в группу, называемую колонкой. Экономайзеры изготавливают одно- и двухколонкового типа, последовательно омываемые газами. В двухколонковых экономайзерах между колонками устанавливается металлическая перегородка. Трубы экономайзера соединены калачами или соединительными трубами таким образом, что питательная вода проходит по ним последовательно снизу вверх; в экономайзерах сетевой воды движение воды - подъёмное или опускное. Движение воды и газов в экономайзере обычно противоточное, однако может быть и прямоточным. Группы собираются на общем для всего экономайзера каркасе, состоящем из стоек, несущих нагрузку от труб, и поперечных швеллеров, на которые опираются горизонтальные ряды труб.

Экономайзеры снабжаются стационарными аппаратами с одной или двумя обдувочными каретками. Обдувка труб экономайзера производится паром или воздухом давлением до 1,2 МН/м. Сопловой аппарат обеспечивает эффективную очистку до четырёх рядов труб по вертикали вверх и вниз. Расход пара через одно сопло диаметром 5 мм составляет от 0,022 кг/сек (насыщенный пар под давлением $p = 0,8$ МН/м) до 0,039 кг/сек ($p = 1,6$ МН/м², $t_{ne} = 350$ °С). Необходимая арматура и гарнитура поставляются в комплекте с экономайзером (см. Рис.3,4)

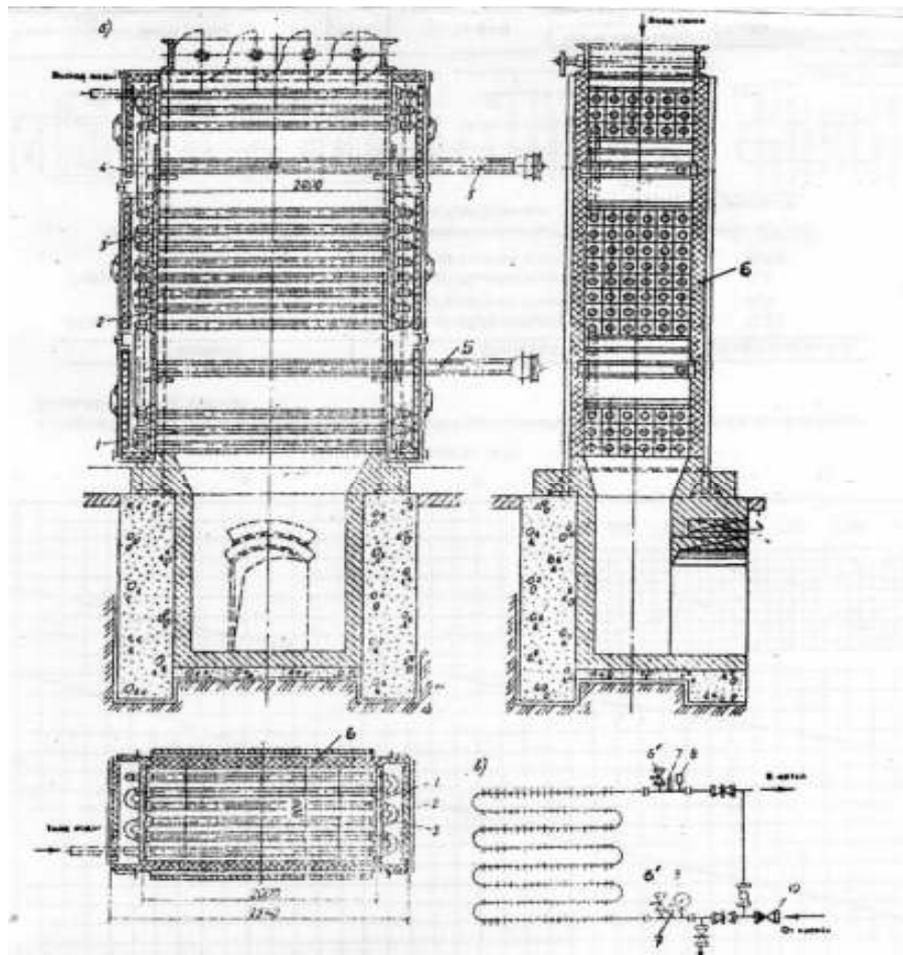


Рис. 4. Блочный одноколяковый экономайзер: б) - план и разрезы; в) - схема включения
 б) 1 - труба чугунная ребристая; 2 - фланец; 3,4 - калачи; 5 - устройство обдувочное; 6 -

Таблица 4. Основные технические показатели блочных

водяных экономайзеров (см. рис. 3)

Обозначение экономайзера	Поверхность нагрева	Длина трубы, м	Количество			Температура газов за экономайзером, °С			Температура воды, °С				Масса экономайзера, кг	Тип котлоагрегата, для которого предназначен экономайзер	
			Колонки	Трубы в ряду	Рядов	Твердое топливо	Мазут	Газ	На входе	На выходе					
										Твердое топливо	Мазут	Газ			
ЭП2-94	94,4	2	2	2	16	160-165	175	150	100	157-165	148	138	4 045	ДКВр 2,5-13	
ЭТ2-71	70,8			12	150-160	180	145	70	104-109	106	101	3 510			
ЭП2-142	141,6			3	16	155-165	180	150	100	153-162	149	140	5 425	ДКВр 4-13	
ЭТ2-106	106,2			12	150-160	180	150	70	102-106	107	102	4 580			
ЭП2-236	216			5	16	155-163	180	150	100	152-163	149	140	8 180	ДКВр 6,5-13	
ЭТ2-177	177			12	150-160	180	150	70	100-117	110	101	6 750			
ЭП1-236	236		16	155-163	180	150	100	152-163	149	140	8 675				
ЭП1-177	177		12	150-160	180	150	70	100-117	110	101	6 670				
ЭП-330	330,4		1	7	16	16	155-165	175	155	100	149-156	142	142	11 450	ДКВр 10-13 (23)
ЭТ1-248	247,8				20	150-160	180	153	70	100-106	102	103	8 800		
ЭП1-808	808	20			150	178	158	100	162	165	166	25 500			
ЭП1-646	646	3	9	16	16	155-180	-	-	100	147-174	-	-	20 500	ДКВр 20-13 (23)	
ЭТ 1-646	646			16	150-160	180	150	70	100-106	105	100	20 500			

Примечания 1. Водяные экономайзеры могут применяться для нагревания питательной или сетевой воды. В зависимости от назначения экономайзера изменяется схема соединения труб и экономайзеру присваивается индекс П (питательный) или Т (теплофикационный). 2. Предельное рабочее давление для питательного экономайзера 2,75 МН/м², для теплофикационного - 1,47 2,75 МН/м².

В питательных одноколлекторных и двухколлекторных экономайзерах вода должна направляться снизу вверх в каждой колонке. В двухколлекторных экономайзерах холодную воду следует подводить во вторую по ходу газов колонку.

Во время работы «некипящего» экономайзера нельзя допускать вскипания в нём воды, что может произойти при недостаточном расходе воды через него и при открытом вентиле на байпасе по воде. Вскипание воды приводит к гидравлическим ударам, а также к образованию трещин в ребристых трубах из-за неравномерного прогрева, при наличии в них и воды, и пара. Экономайзеры изготавливаются для обычных условий, на экспорт, для районов с тропическим климатом; поставляются по техническим условиям заводов. Одноколлекторные питательные экономайзеры - двумя блоками, Экономайзеры с 3-метровыми трубами - поставляются тремя блоками. При монтаже отдельные блоки стыкуются путем приварки стоек каркаса.

Основные характеристики блочных экономайзеров приведены в **табл. 4, 5**

Чтобы лучше удалять воздух из воды, нагреваемой в экономайзерах, она должна перемещаться снизу вверх. Движение же газов целесообразно принять по принципу противотока. В двухколонковых экономайзерах, чтобы обеспечить противоток в первой колонке (по ходу газов), необходимо подводить нагреваемую воду на вторую колонку по ходу газов. Температура воды при входе в экономайзер любого типа должна быть на 5-10°C выше точки росы.

Таблица 5. Основные показатели блочных водяных экономайзеров [9, с.131; 10; 11]

Показатели	Тип экономайзера												
	двухколонковых						одноколонковых						
	ЭП2-94	ЭТ2-71	ЭП2-142	ЭТ2-106	ЭП2-236	ЭТ2-177	ЭП1-236	ЭТ1-177	ЭП1-330	ЭТ1-248	ЭП1-808	ЭП1-646	ЭТ1-646
Длина труб экономайзера в мм	2000						3000						
Поверхность нагрева в м ²	94,4	70,8	141,6	106,2	236	177	236	177	330,4	247,8	808	646	646
Количество труб в ряду	2	2	3	3	5	5	5	5	7	7	9	9	9
Число рядов по группам	4+4	4+2	4+4	4+2	4+4	4+2	2+8+2	4+8	4+8+4	4+8	4+8+8	4+8+4	4+8+4
Число групп в колонке							3	2	3	2	3	3	3
Количество обдувочных устройств			2				2	2	2	2	3	2	2
Общая масса экономайзера, т	4,4	3,7	5,7	4,7	8,7	7,1	8,7	6,7	11,4	8,8	25,5	20,5	20,5

Показатели	Тип экономайзера					
	ЭП2-94	ЭП2-142	ЭП2-236	ЭП1-330	ЭП1-646	ЭП1-808
1	2	3	4	5	6	7
Предельное рабочее давление в экономайзере, МПа (кгс/см ²)	3,0(30)	3,0(30)	3,0(30)	3,0(30)	3,0(30)	3,0(30)
Гидравлическое сопротивление, МПа (кгс/см ²), не более	0,2(2)	0,2(2)	0,2(2)	0,2(2)	0,2(2)	0,2(2)
Аэродинамическое сопротивление, Па (мм вод. ст.), не более	343(35)	343(35)	343(35)	343(35)	343(35)	343(35)
Тип короба при топливе:						
газ, мазут	01	02	03	07	-	10
каменный уголь	04	05	06	08	10	-
фрезерный торф, бурый уголь	-	-	-	-	09	-

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7
Тип, котла	КЕ-2.5-14С ДЕ-4-14ГМ ДКВр-2.5	КЕ-4-14С ДЕ-6.5-14ГМ ДКВр-4.0	КЕ-6.5-14С ДЕ-10-14ГМ ДКВр-6.5	КЕ-10-14С ДЕ-16-14ГМ ДКВр-10	КЕ-25-14С	ДЕ-25-14ГМ
Масса экономайзера без короба, кг, не более	3700	4800	7660	10770	19550	24260

П р и м е ч а н и е . Параметры являются расчётными и приведены в качестве справочных. Пример условного обозначения при заказе питательного двухколонкового экономайзера с поверхностью нагрева $94,4 \text{ м}^2$ с коробом типа 01 (при работе котла на газе и мазуте): экономайзер ЭП2-94-0 1 ОСТ 108.271. 108-82.

Газоход экономайзера отделяется от окружающей среды с двух сторон этими стенками, а с двух других сторон — кирпичной обмуровкой или обшивкой 6. Экономайзерные трубы соединяются чугунными деталями — калачами 3 и 4, присоединяемыми к трубам на фланца (**рис.3**).

Для очистки наружной поверхности труб экономайзера от золы и сажи их обдувают перегретым паром или сжатым воздухом при помощи специальных обдувочных устройств 5.

Вода из питательной линии подается в одну из крайних нижних труб экономайзера, а затем последовательно проходит через эти калачи по всем трубам, после чего поступает в котёл. Применением описанной схемы движения воды достигается скорость её, обеспечивающая смывание со стенок труб пузырьков воздуха, которые выделяются из воды при нагреве её и могут послужить причиной разъедания металла труб. Движение воды сверху вниз не допускается во избежание возникновения гидравлических ударов.

Температура воды при входе в экономайзер должна превышать точку росы дымовых газов не менее чем на 10°C , чтобы исключить возможность конденсации водяных паров, входящих в состав дымовых газов, и осаждения влаги на трубах экономайзера. Конечная температура воды, подогретой в чугунном водяном экономайзере, при установке его к котлам с непрерывным питанием, а также к котлам с малым объёмом воды в барабане при установке автоматических регуляторов питания, должна быть ниже температуры насыщения при данном давлении не менее чем на 20°C , чтобы исключить парообразование в экономайзере и гидравлические удары.

Обводной газоход для отключения индивидуального водяного экономайзера по тракту продуктов сгорания необязателен при наличии сгонной линии, обеспечивающей постоянный пропуск воды через экономайзер в случае повышения температуры воды после него. Пользоваться сгонной линией приходится при растопке котла (**рис.3**)

При сжигании твёрдых топлив скорость газов в блочном экономайзере принимается от 7 до 10 м/сек., причём большие значения соответствуют более зольным топливам. В

газозагретых котлоагрегатах скорость газов в экономайзере принимают 6...9 м/сек. Скорость воды в экономайзере должна быть в пределах от 0,5 до 1 м/сек.

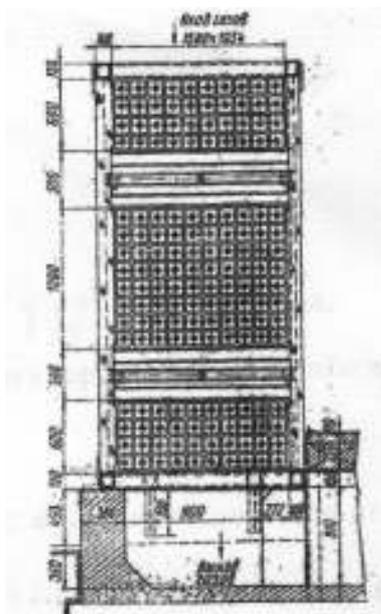


Рис. 6 Одноколонковый экономайзер ВТИ в блочной облицовке

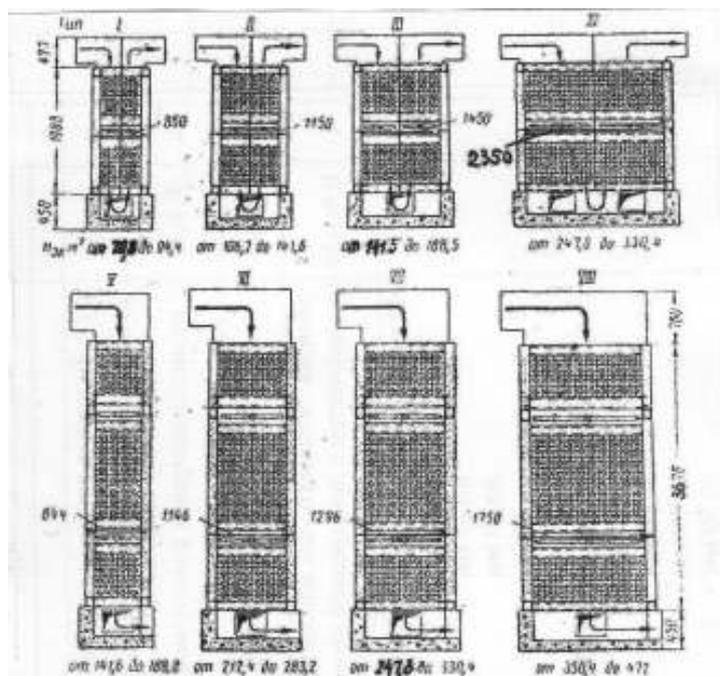


Рис. 7. Типоразмеры блочных экономайзеров системы ВТИ [10]

3.2. Стальные водяные экономайзеры

3.2.1 Стальные экономайзеры для котлов с рабочим давлением до 24 кгс/см .

ЦКТИ и Бийский котельный завод в 1968 г. разработал серию стальных экономайзеров для котлов ДКВр, предусматривающую их установку вместо чугунных экономайзеров при минимальной корректировке действующих типовых проектов. Установка стальных экономайзеров может допускаться для котлов ДКВр с рабочим давлением 13 кгс/см и температурой воды на входе 100°C , работающих на газе. При этом в котельных должна быть налажена автоматизированная работа барботажных термических деаэраторов конструкции ЦКТИ-ЧМЗ. Использование стальных экономайзеров для котлов работающих на мазуте, антрацитах и других сернистых видах топлива для котельных, имеющих температуру питательной воды на входе в стальной экономайзер ниже 145°C , должно исключаться.

Стальные экономайзеры применяются в качестве неотключаемых поверхностей нагрева котлоагрегата. **На питательной магистрали между котлом и экономайзером не должна устанавливаться запорная арматура.** Схема питания котлоагрегата со стальным экономайзером остается такой же, как и с чугунным (см. рис. 1). Стальные экономайзеры набираются из змеевиков длиной 1820 мм, изготовленных из труб диаметром 28x3 мм с радиусамигиба 50 мм. Места гибов змеевиков отогнуты в сторону на угол 5° , что позволяет

разместить два змеевика в одной плоскости и выполнить более плотный, коридорный пучок с шагами $S_1=70$ и $S_2=50$ мм.

В серии экономайзеров применены плоские змеевики с 5; 7 и 13 гибами. Число сдвоенных змеевиков в одной колонке экономайзеров для котлов ДКВр- 2,5; ДКВр-4; ДКВр-6,5; ДКВр-10 и ДКВр-20 составляет соответственно 3; 6; 9; 12 и 21 шт. Экономайзеры котлов ДКВр-2,5; ДКВр-4 и ДКВр-6,5 выполняются в две колонки, разделенные между собой стальной перегородкой.

Стальные экономайзеры изготавливаются в облегченной обмуровке и обшивке и поставляются одним транспортабельным блоком. Серия стальных экономайзеров представлена на **рис. 8**. Технические характеристики блочных водяных стальных экономайзеров (БВЭС) сведены в **табл. 6, 7, [10, 11]**.

Таблица 7. Экономайзеры стальные водяные типа БВЭС, не отключаемые от котла

Наименование	Тип экономайзера				
	БВЭСI-2	БВЭСII-2	БВЭСIII-2	БВЭСIV-2	БВЭСV-2
Площадь поверхности нагрева, м ²					
Рабочее давление, МПа (кгс/см ²)	28	57	85	113	240
Диаметр труб, мм			1,5 (1,5)		
Расположение труб			28x3		
Шаг труб, мм:			Коридорное		
поперечный					
продольный					
Число пакетов труб, шт.			70		
Число лазов, шт.			50		
Число колонок по ходу газов	2	2	2	3	3
Сечение, м ²	1	1	1	2	2
для прохода газов	2	2	2	1	1
для воды, 10 ⁻³					
Температура воды, °С:					
на входе	0,239	0,492	0,743	0,932	1,81
на выходе	0,5	0,4	0,44	0,51	1,59
Соппротивление, кПа (кгс/м ²):			100		
по тракту газов			138		
воды					
Габаритные размеры блока, мм:					
ширина	0,21 (21)	0,15 (15)	0,17 (17)	0,25 (25)	0,39 (39)
длина	10,7(1070)	6,8 (680)	8,0 (800)	10,3(1030)	12,6(1256)
высота					
Масса, кг:					
металла под давлением общая в	574	994	1414	1400	1482
объеме поставки	2610	2610	2610	2460	2460
	2112	2112	2112	4200	4510
	654	1272	1910	2440	5144
	1810	2660	3490	4890	8350
Изготовитель	Бийский котельный завод				

П р и м е ч а н и е . Экономайзеры стальные устанавливаются за котлами, работающими на газе, не содержащем серы, и при наличии деаэраторов атмосферного типа. Экономайзеры набираются из змеевиков длиной 1820 мм с радиусомгиба 50 мм. с шагами $S_1 = 70$ мм и $S_2 = 50$ мм в пакеты с расстоянием между последними 450 мм для лазов.

Таблица 6. Технические характеристики стальных водяных экономайзеров к котлам ДКВр

Показатели экономайзера	Типы котлов						
	ДКВр-2,5	ДКВр-4,0	ДКВр-6,5		ДКВр-10	ДКВр-20	
Паропроизводительность, <i>т/ч</i>	3,7	6,0	9,7	9,7	15	28	20
Тип	I-2	II-2	III-1	III-2	IV-1	V-1	VI-1
Поверхность нагрева, <i>м²</i>	28	57	85	85	133	239 15	83
Рабочее давление, <i>ат</i>	15	15	15	15	15	28x3	15
	28x3	28x3	28x3	28x3	28x3		32x3
Расположение труб	Коридорное						
	БВЭС -I-2; 28	БВЭС -II-2; 57	БВЭС -III-2; 85		БВЭС -IV-1; 113	БВЭС -V-1; 239	
Шаг труб, <i>мм</i> :							
поперек потока газов <i>S₁</i>	70	70	70	70	70	70	66
вдоль потока газов <i>S₂</i>	50	50	50	50	50	50	55
Сечение:							
для прохода газов, <i>м²</i>	0,239 2,28	0,492	0,743	0,743	1,042	1,81 16	2,37
для прохода воды, <i>10³ · м²</i>		4,46	6,84	6,84	9,12		5,3
Скорость, <i>м/сек</i>							
газов	7,3	6,4	6,85	6,85	7,75	8,9	7,5
воды	0,5	0,4	0,44	0,44	0,51	0,53	1,32
Температура воды, °С:							
на входе	100	100	100	100	100	100	160
на выходе	138	138	138	138	138	138	~190
Сопротивление по газовому тракту, (<i>кг/м²</i>) <i>мм в.ст</i>	21	15	17	17	25	38	12
Гидравлическое сопротивление, (<i>кг/м²</i>) <i>мм в.ст</i>	1070	680	800	800	1030	1250	500
Вес металла под давлением, <i>кг</i>	654	1272	1910	1910	2440	5140	1960
Общий вес в объеме заводской поставки, <i>кг</i>	1810	2660	3700	3490	4890	8360	3100

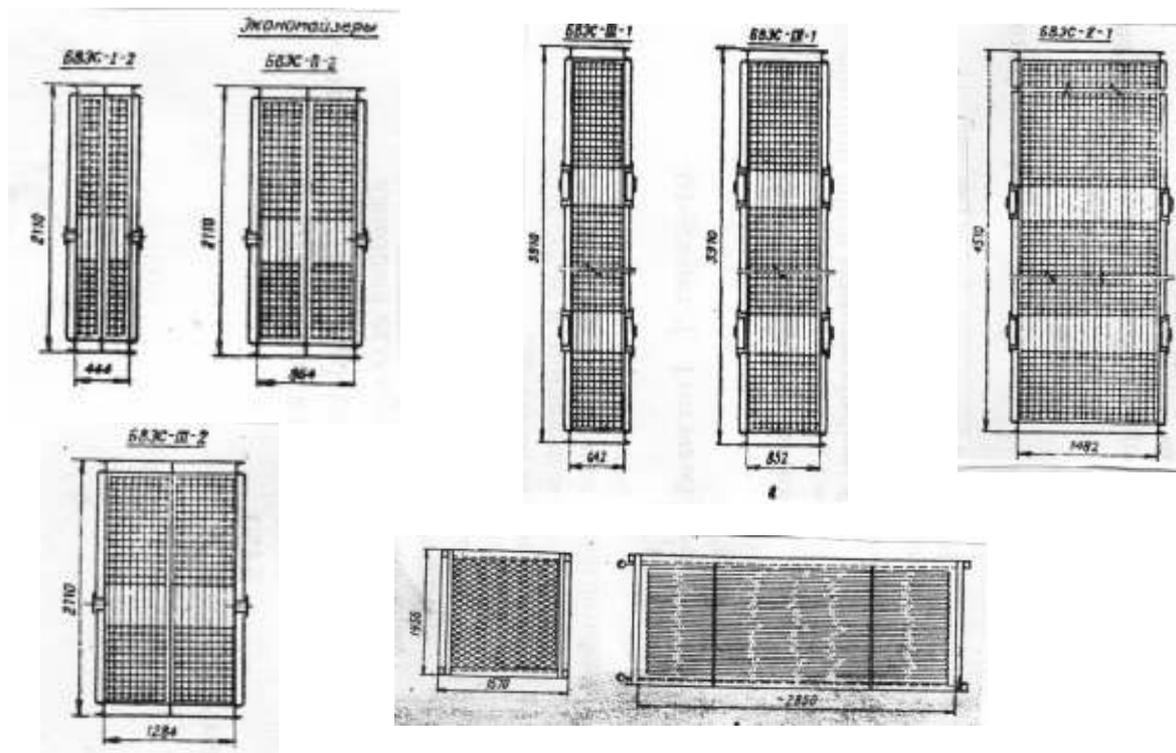


Рис. 8. Общая компоновка стальных экономайзеров

Стальной экономайзер котла ДКВр-6,5-13 имеет аналогично чугунному экономайзеру для этого котла второй вариант исполнения - в одну колонку. Эта необходимо для уменьшения длины котлоагрегата и размещения его в стандартном пролете здания.

В одноколонковом исполнении выполнены и экономайзеры для котлов ДКВр-10-13 и ДКВр-20-13.

В каждой колонке размещено две или три секции, расположенные друг от друга на расстоянии 450 мм. В этом промежутке устанавливаются лазы и лючки для периодической обдувки и осмотра пакета труб.

Использовать тепло уходящих газов котла ДКВр-20-13, работающего на антраците, в одном чугунном экономайзере не представляется возможным, поэтому дополнительно к нему может быть установлен воздухоподогреватель или стальной экономайзер. Установка воздухоподогревателя применяется при работе котлов на влажных бурых углях, для которых крайне желателен подогрев воздуха. При этом приходится пренебрегать некоторым усложнением компоновки.

Для котла ДКВр-20-13, работающего на антраците, подогрев воздуха не является необходимым, поэтому с целью упрощения компоновки котельной ячейки для этого котла применяется стальной экономайзер. Блок стального экономайзера устанавливается на каркасе чугунного. Ввиду того, что компоновки котлоагрегата ДКВр-20-13 на различные виды топлива зависят от топочных устройств, изменения компоновки хвостовой поверхности нагрева практически не меняют проектные решения. Питательная вода, пройдя чугунный экономайзер, с температурой 162°C поступает в стальной экономайзер. При этих температурных условиях стальной экономайзер не будет подвержен коррозии.

Стальной экономайзер котла ДКВр-20-13, работающего на антраците, выполняется с шахматным расположением труб диаметром 32x3 мм с шагами $S_1=33$ и $S_2=55$ мм. Экономайзер состоит из одной колонки. Число параллельно включенных по ходу воды змеевиков 10. Длина змеевика до радиуса гиба 2660 мм. Блок стального экономайзера, устанавливаемый в качестве дополнительной первой по ходу газов поверхности нагрева котла ДКВр-20, выполнен в габаритах, наиболее удобных для размещения его на каркасе чугунного экономайзера. Типовые конструкции стальных водяных экономайзеров изготавливают по специально разрабатываемым чертежам. В стальных змеевиковых экономайзерах расположение труб принимается шахматное с поперечным шагом $2-2,5 d$ и продольным $1,5 d$. Омывание труб дымовыми газами выполняется только поперечное. В каждом пакете по высоте не должно быть более 25 рядов, а высота не должна превышать 1,5 м. Между пакетами предусматривают разрывы высотой 550-600 мм для размещения обдувочных устройств. Все индивидуальные водяные экономайзеры присоединяют к

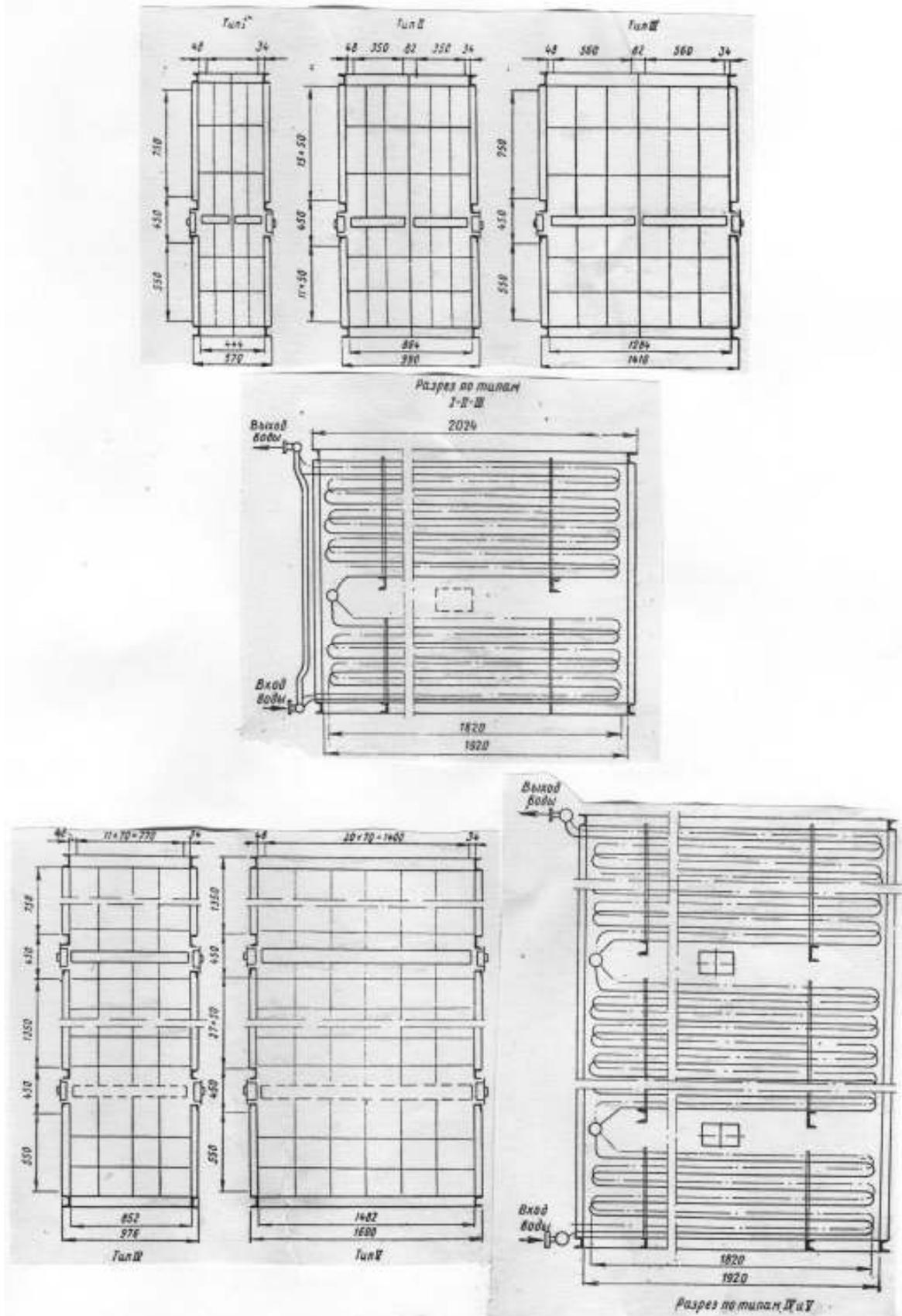


Рис. 8¹. Схемы типовых конструкций стальных водяных экономайзеров [10, 11]

газовому тракту котла без обводных газоходов, обводные газоходы применяют лишь при групповых экономайзерах; в этом случае на обводных газоходах устанавливают последовательно обязательно две заслонки, чтобы избежать перетечек газа помимо поверхностей нагрева. Скорости перемещения газов по экономайзерам принимают в пределах $\omega = 6 - 9 \text{ м/сек}$, но не менее 3 м/сек. Скорость воды в трубах экономайзера может изменяться в пределах 0,3-1,5 м/сек.

3.2.2. Стальные экономайзеры, применяемые для котлов с избыточным давлением пара свыше 24 кгс/см², представляют собой несколько секций змеевиков, изготовленных из труб $d = 28-38 \text{ мм}$ с толщиной стенки 3 или 4 мм [4, 5, 7, 8, 9...14].

Стальные экономайзеры изготавливаются из труб диаметром от 28 до 38 мм, которые изгибаются в змеевики. Змеевики водяного экономайзера обычно размещают в опускном газоходе при поперечном омывании их продуктами сгорания. Расположение змеевиков чаще всего шахматное, но может быть и коридорное.

Коллекторы водяного экономайзера имеют круглую форму, и в промышленных котлах их обычно размещают за пределами газохода, укрепляя на опорах. Для разгрузки мест присоединения змеевиков к коллекторам от веса самих змеевиков, заполненных водой, их обычно подвешивают с помощью специальных подвесок к каркасу котла или опирают на каркас с помощью опорных стоек. Для сохранения шага между змеевиками к опорным стойкам приваривают гребенки.

На **рис.9,а** показан общий вид стального трубчатого водяного экономайзера, который состоит из нижнего входного коллектора 2, труб 3 и верхнего выходного коллектора 4. На **рис. 9,б** приведена схема включения некипящего экономайзера. Эти экономайзеры должны иметь возможность отключаться от котла по водяной линии.

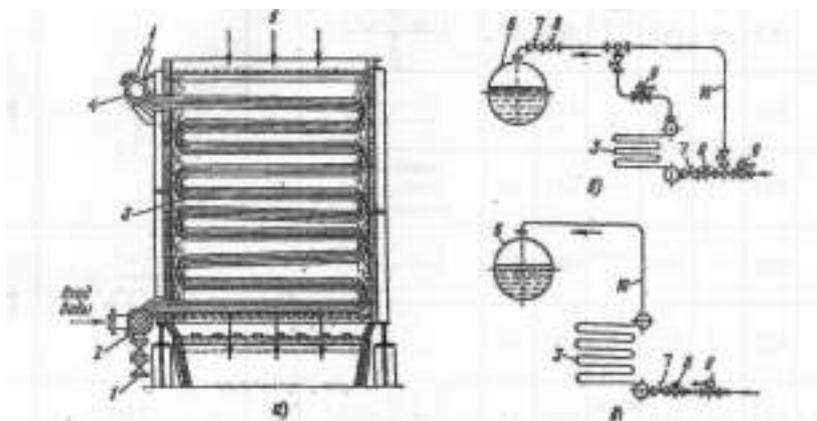


Рис. 9. Стальной змеевиковый экономайзер

а - общий вид, б - схема включения не кипящего экономайзера, в - схема включения кипящего экономайзера; 5 и 7 - спускной и запорный вентили, 2 - входной коллектор, 3 - трубы экономайзера, 4 - выходной коллектор подогретой воды, 5 - вход газов, 6 - барабан котла, 8 и 9 - обратный питательный и предохранительный клапаны, 10 - обводной трубопровод питания.

Экономайзеры делятся: по форме трубной системы на змеевиковые, петлевые и с трубками малой погиби; по типу поверхности нагрева - на гладкотрубные, ребристые и плавниковые; по подогреву воды - на некипящие и кипящие.

Наибольшее распространение получили гладкотрубные змеевиковые экономайзеры, одна из конструкций которых приведена на рис. 10.



Для повышения эффективности теплообмена иногда применяют специальные насадки в виде рёбер и плавников на гладких стальных трубках. Ребристые экономайзеры с насадными дисками сложны в изготовлении, дороже обычных гладкотрубных и для котлов в настоящее время почти не применяются. Плавниковые экономайзеры, как и ребристые, дают возможность путём более интенсивной теплопередачи конвекцией от газов к поверхности нагрева уменьшить габариты пучка по сравнению с экономайзерами гладкотрубного типа.

Для облегчения монтажа экономайзера отдельными блоками, удобства выполнения ремонтных работ и облегчения очистки поверхности нагрева от летучей золы поверхность разбивается на отдельные части (пакеты). Высота пакета не превышает 1,5м при редком расположении труб и 1м - при тесном. Между пакетами предусматриваются разрывы 600 - 800мм. Дымовые газы, уходящие из котла, омывают трубки поверхности нагрева водяного экономайзера и передают через них часть своей теплоты воде. Благодаря этому понижается температура уходящих из котельной установки газов, повышается к.п.д. котла и соответственно экономится топливо, расходуемое в котельной установке. Отсюда и появилось название «экономайзер». Подогрев воды в экономайзере на 1°С вызывает охлаждение дымовых газов примерно на 2,5 - 3 °С.

При наиболее часто применяемой П-образной компоновке котла и сжигании твёрдого топлива змеевики водяного экономайзера рекомендуется располагать параллельно задней стене котла. Это облегчает ремонт змеевиков, так как износу подвергаются не все змеевики, а только прилегающие к внешней стене шахты, потому что

повышенные скорости и концентрации золы будут на внешней образующей поворота.

Поперечное расположение змеевиков и допускается при сжигании жидких, газообразных и малозольных твёрдых топлив. Стальные гладкотрубные змеевиковые экономайзеры кипящего или некипящего типа широко применяются в котлоагрегатах среднего давления при обязательном питании их деаэрированной водой [9, с.126...130; 7; 10...13].

Различают одно- и двухступенчатые экономайзеры (рис. 11). Двухступенчатый экономайзер 2 (рис. 11, а-в) устанавливают при подогреве воздуха до температур выше 360°С. Между его ступенями располагают воздухоподогреватель. Из экономайзера 2 вода в котлах с естественной циркуляцией поступает в барабан 1, в прямоточных - в раздающие коллектора НРЧ. По отношению к фронту котла змеевики располагают как перпендикулярно, так и параллельно. Выбор расположения определяется условиями наименьшего золотого износа труб. Число потоков воды в экономайзере обусловлено обеспечением заданной скорости движения воды в трубах. **Однопоточные схемы показаны на рис. 11, а, в, г, е, а двухпоточные - на рис. 11, б, д.**

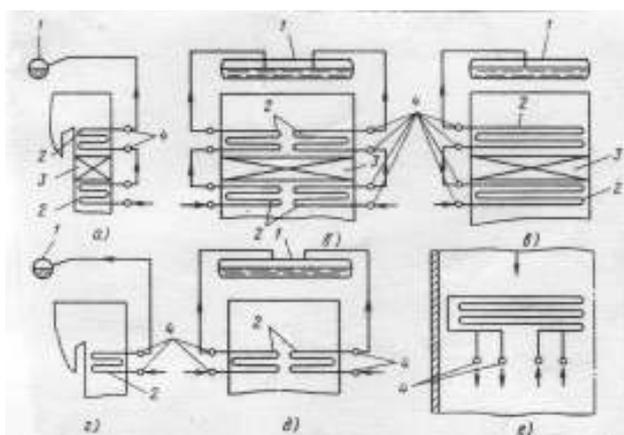


Рис. 20. Схемы включения ступеней экономайзера

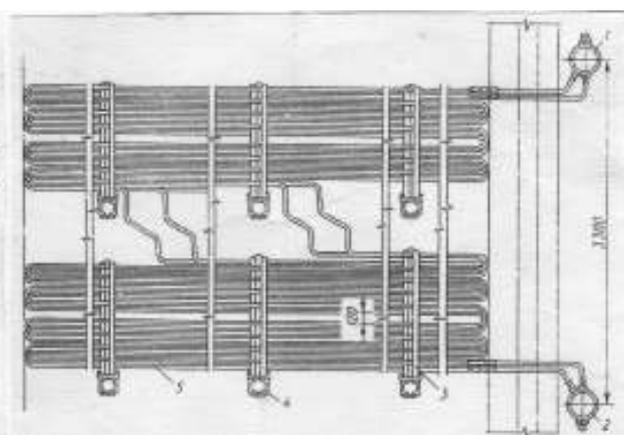


Рис. 21. Ступень двухпоточного экономайзера барабанного котла

При работе газового тракта, котла под разрежением коллекторы 4 выносят за пределы газохода, а при наддуве или уравновешенной тяге размещают непосредственно в газоходе для улучшения герметизации. На рис. 12 представлена ступень двухпоточного экономайзера барабанного котла, работающего на твёрдом топливе. Трубы 5 с учётом абразивных свойств золы расположены параллельно фронту котла. Крепление труб 5, их дистанционирование осуществляется при помощи стоек 3, опирающихся на полые охлаждаемые водой или воздухом банки 4, соединённые с каркасом котла. С наружной стороны балка покрыта теплоизоляцией. Температурные перемещения труб происходят от коллекторов 1 и 2 справа налево.

Место прохода труб через обмуровку котла уплотняют. Для герметизации газохода коллекторы помещают в металлические кожухи, а для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду теплоизолируют.

Змеевики крепят на стойках, опирающихся на металлические балки каркаса экономайзера. Стальные водяные экономайзеры изготавливают из блоков и транспортируют в собранном виде.

При сжигании твердых видов топлива с большим содержанием мелких фракций наблюдается большой золовый износ некоторых участков труб. Чтобы предохранить их от этого, в местах, подверженных износу, устраивают защитные приспособления, как показано на рис. 12¹.

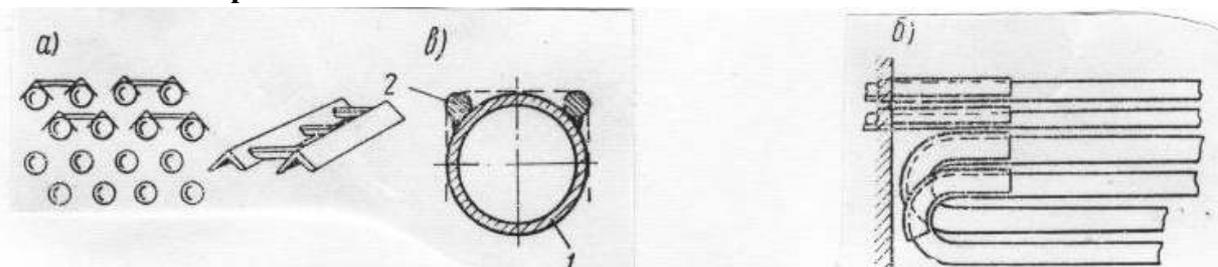


Рис. 12¹. Защитные устройства для предохранения труб стальных экономайзеров от золового износа

а - на прямых участках труб; б - у стен газоходов; в - прутковая защита; 1-трубы; 2 – прутки

Конструкцию экономайзера характеризуют следующие показатели: удельный объем, занимаемый экономайзером, V/Q , $\text{м}^3/\text{МВт}$, - габаритная характеристика; удельный расход металла экономайзера G/Q $\text{кг}/\text{МВт}$, - массовая характеристика; удельная стоимость экономайзера A/Q , $\text{руб}/\text{МВт}$ - стоимостная характеристика (рис. 13, 14)

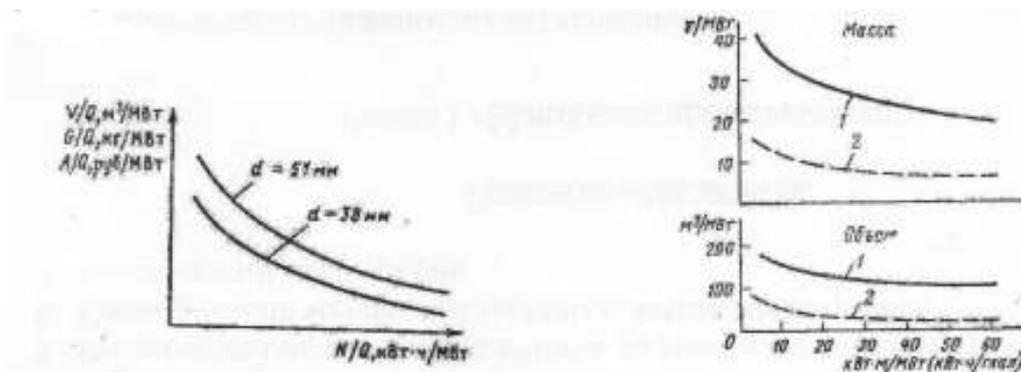


Рис. 13. Конструктивные характеристики экономайзера и их зависимость от диаметра труб [6]

Зависимость этих характеристик от удельного расхода электроэнергии на тягу даёт возможность выявить оптимальный из графика, с уменьшением диаметра трубок значительно улучшают все характеристики экономайзера. Минимальное значение применяемого диаметра трубок определяется условиями изготовления экономайзера.

Рис. 14. Сопоставление объема и массы чугунных и стальных водяных диаметра труб экономайзеров при тепловосприятии 1МВт

(1 Гкал) и различном газовом сопротивлении (при разных скоростях газов) [5]

1 - чугунный экономайзер; 2 – стальной экономайзер.

3.2.3. Методика расчета теплообмена и компоновка поверхности нагрева стального водяного экономайзера [7, 9, 10...13]

В объём теплового расчёта экономайзера входит определение его поверхности нагрева $H_{\text{в}}$, основных конструктивных размеров и температуры газов на выходе из экономайзера при номинальной паропроизводительности котла. Стальные змеевиковые экономайзеры изготавливаются из труб с наружным диаметром от 25 до 42 мм. Они подразделяются на экономайзеры не кипящего и кипящего типа. В последних допускается нагрев воды до температуры кипения и частичное парообразование (до 25%).

Проектирование стального водяного экономайзера: выбор диаметра труб, шагов труб в продольном и поперечном направлениях, компоновка змеевиков производится в таком же порядке, что и при расчёте конвективного пароперегревателя [9; 13; 8, с.173...177; 6]

Поперечный шаг между змеевиками обычно принимается равным $S_1 = (2-2,5) d$; радиусгиба змеевика рекомендуется $(1,5-2,0) d$, продольный шаг для шахматного пучка будет равен $S_2 = (1,5+2,0) d$.

Расположение труб в газоходе экономайзера обычно принимается шахматное, реже - коридорное. Шахматное расположение труб обеспечивает более компактную поверхность нагрева. Рекомендуемые скорости газов при применении в котлах средней мощности двухступенчатого стального водяного экономайзера приведены в табл. 8.

Таблица 8. Рекомендуемые скорости газов в водяном экономайзере [9]

Компоновка водяного экономайзера	Скорость газов в м/сек	
	для зольного топлива	для беззольного топлива
Первая (нижняя) ступень:		
коридорное расположение труб	11-12	11-12
шахматное расположение	7-9	7-9
Вторая (верхняя) ступень:		
коридорное расположение труб	10-12	13-14
шахматное расположение	9-11	9-11

Для возможности производства монтажа, ремонта и чистки экономайзера его общую поверхность нагрева разбивают по высоте газохода на несколько частей (пакетов) с разрывом между пакетами 500-600мм. Высота одного пакета экономайзера 1-1,5м. Скорость воды в змеевиковом экономайзере рекомендуется принимать в пределах $\omega_g = 0,4-0,8$ м/сек.

В котлоагрегатах малой мощности экономайзер часто не входит в объём поставки котла заводом-изготовителем, поэтому при проектировании или модернизации котельной приходится выполнять конструктивный расчет с целью

определения поверхности нагрева экономайзера. При конструктивном расчете экономайзера известны величины энтальпий газов и воды в экономайзере и энтальпия газов за экономайзером. Тогда количество тепла, переданное от газов водяному экономайзеру, определяется по уравнению теплового баланса:

$$Q_{\text{вз}} = \mu \cdot (H'_{\text{вз}} - H''_{\text{вз}} + \Delta H_{\text{вз}}^{\text{вз}}) \cdot \varphi, [\text{ккал} / \text{кг}], \text{кДж} / \text{кг} \quad (6)$$

где: $H'_{\text{вз}}$ и $H''_{\text{вз}}$ - энтальпия газов на входе и выходе в кДж/кг (кДж/м³ для ПГ);

$H_{\text{вз}}^{\text{вз}}$ - энтальпия присосов воздуха в кДж/кг.

Это же количество теплоты, отданное газами экономайзеру, может быть подсчитано из уравнения теплового баланса:

$$Q_{\text{вз}} = Q_p^p \cdot \eta_{\text{ка}}^{\text{вз}} \cdot \frac{100}{100 - q_4} - Q_l - Q_k - Q_{\text{мн}}, [\text{ккал} / \text{кг}], \text{кДж} / \text{кг} \quad (7)$$

Здесь $Q_l, Q_k, Q_{\text{мн}}$ - количество теплоты, отданное топочными газами радиационным поверхностям нагрева, котельным испарительным пучкам и пароперегревателю (ккал/кг), подсчитанные по уравнению теплового баланса. Расхождение результатов расчёта теплоты по формулам (6) и (7) не должно превышать 0,5%.

Температура подогретой воды на выходе из некипящего экономайзера:

$$t_{\text{вз}} \approx t_{\text{не}} + \frac{Q_{\text{вз}} \cdot B_p}{D_{\text{вз}}}, ^\circ \text{C} \quad (8)$$

где: $t_{\text{не}}$ - температура питательной воды, поступающей в экономайзер, °C; $D_{\text{вз}}$ - расход воды через экономайзер, который принимается равным паропроизводительности котла D , кг/ч, с учетом величины продувки котла.

В целях повышения надежности работы экономайзера необходимо, чтобы температура воды за экономайзером при номинальной паропроизводительности котла составляла:

$$t_{\text{вз}}'' = t_s - (25 - 40), ^\circ \text{C} \quad (9)$$

Если по формуле (8) выяснится недопустимый перегрев воды в экономайзере, сначала вычисляется необходимое тепловосприятие в нём по формуле:

$$Q_{\text{вз}} = \frac{D}{B_p} \cdot (h_s'' - h_{\text{не}}''), [\text{ккал} / \text{кг}], \text{кДж} / \text{кг} \quad (10)$$

в которой h_s'' - энтальпия воды на выходе из экономайзера, кДж/кг.

По значению тепловосприятия экономайзера находится энтальпия газов за экономайзером по уравнению (6). В общем случае с учётом тепловосприятия поверхностного пароохладителя и непрерывной продувки котла энтальпия воды после

экономайзера будет равняться:

$$h_g'' = \left(h_{ng} + \Delta h_{no} \cdot \frac{D_{гэ}}{D + D_{np}} + \frac{Q_{гэ} \cdot B_p}{D_{гэ} + D_{np}} \right), [\text{ккал} / \text{кг}], \text{кДж} / \text{кг} \quad (11)$$

где: D_{np} - расход воды на продувку в кг/ч (учитывается, если продувка составляет более 2% от паропроизводительности котла); Δh_{no} — тепловосприятие питательной водой в пароохладителе в ккал/кг.

При двухступенчатой компоновке водяного экономайзера определяются отдельно энтальпии воды после каждой ступени и затем соответствующие температуры воды. Первая ступень экономайзера проектируется некипящей.

Количество теплоты, которое должно быть передано в первой ступени экономайзера, можно вычислить по формуле (10). После того как установлены количества воспринятой теплоты в каждой ступени экономайзера, по уравнениям теплового баланса определяют энтальпии и температуры газов в каждой ступени.

Если окажется, что $h_{гэ}'' \geq h_n'$ - это будет экономайзер кипящего типа, на выходе из которого величина парообразования равняется:

$$x = \frac{h_{гэ}'' - h_n''}{r} \cdot 100\% \quad (12)$$

где: r - теплота парообразования, кДж/кг, при $P_{абс}$ в котле, МПа.

Конструктивный тепловой расчёт водяного экономайзера аналогичен расчёту пароперегревателя. Поверхность нагрева экономайзера равняется:

$$H_{гэ} = \frac{Q_{гэ} \cdot B_p}{\Delta t_{гэ} \cdot k_{гэ}}, \text{м}^2 \quad (13)$$

Температурный напор в экономайзере определяют по формулам с учётом взаимного направления потоков газа и воды. В случае частичного испарения воды в экономайзере при паросодержании пароводяной смеси, выходящей из экономайзера $x \leq 30\%$, расчёт температурного напора производится с достаточным приближением по условной температуре воды на выходе:

$$t_{усл} = t_n + \frac{\Delta h_n}{8,4}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (14)$$

где: $\Delta h_n = h_{гэ}'' - h_{кин}$ - количество теплоты, использованное на парообразование проходящей через экономайзер воды, в кДж/кг; $h_{гэ}''$ - энтальпия пароводяной смеси на выходе из экономайзера в кДж/кг [по формуле (11)]; $h_{кин}$ - энтальпия кипящей воды при давлении в котле в кДж/кг; t_n - температура насыщения воды в котле при абсолютном давлении в котле в $^\circ\text{C}$.

Коэффициент теплопередачи в экономайзере вычисляется по известным формулам. Если температура газов на входе в экономайзер $\theta'_{гз} < 400$ °С, коэффициент теплообмена излучением можно не считать. Температура чистой стенки экономайзера принимается равной средней температуре воды в экономайзере. Температуру загрязненной стенки со стороны газов для одноступенчатого экономайзера при температуре газов $\theta'_s < 400$ °С с достаточным приближением можно принять $t_{з.ст.}^{эк} = t_{о.с}^{cp} + 25^0 C$, где $t_{о.с}^{cp}$ - средняя температура обогреваемой среды (в данном случае воды).

При температуре газов $\theta'_{гз} > 400$ °С для одноступенчатого экономайзера и второй ступени экономайзера:

$$t_{з.ст.}^{эк} = t_{о.с}^{cp} + 100,^0 C \quad (15)$$

В случае обводных газоходов определение температуры газов за экономайзером и скорости газов в экономайзере производится с учётом пропуска через обводной газоход части газов μ , которая принимается для одинарных шиберов 10%, а для двойных закрытых шиберов - 5% от общего объёма газа перед экономайзером, т. е. $\mu = 0,9$ или $\mu = 0,95$ в формуле (6).

Скорость воды в некипящей ступени принимают 0,3-1,5 м/сек и не менее 1,0 м/сек для ступени экономайзера с частичным испарением воды (при минимальной нагрузке котлоагрегата). Величина гидравлического сопротивления экономайзера для котлоагрегата среднего давления должна составлять не более 8% давления в барабане котлоагрегата. Поверхность нагрева плавниковых экономайзеров определяется с учётом поверхности плавников:

$$H = \pi \cdot d \cdot l_{mp} + 4h_{пл} l_{пл}, м^2 \quad (16)$$

где: $h_{пл}, l_{пл}$ - высота и длина плавников, м

Общее число змеевиков экономайзера, n можно определить, пользуясь уравнением неразрывности, по формуле:

$$n = \frac{D}{3600 \frac{\pi}{4} d_g^2 \rho_g \omega_g} \quad (17)$$

где: D - часовой расход воды в кг/ч; d_g - внутренний диаметр трубы в м; ρ_g, ω_g - соответственно плотность (кг/м³) и скорость (м/сек) воды.

Для водяных экономайзеров применяют трубки диаметром 29x2,5; 38x3,0; 44,5x3 и 51x3,5мм (меньшие диаметры для гладкотрубных и плавниковых, а большие для ребристых). Шаги трубок принимают как можно меньших размеров, но с учетом обеспечения надежной эксплуатации. Рекомендуется для гладкотрубных пучков выбирать шаг с таким расчётом, чтобы просвет между трубками составлял 12-18 мм. Для ребристых пучков диаметр ребра принимают равным: $D_p = (2,8 \dots 3,4) d_n$

$$(18)$$

где: d_n - наружный диаметр трубок, м, а расстояние между ребрами: 11-15 мм при мазутном отоплении и 15-25мм – при угольном.

где: $l_{\text{эз}}$ и $L_{\text{эз}}$ - поперечный и продольный размеры пучка трубок водяного экономайзера, м;

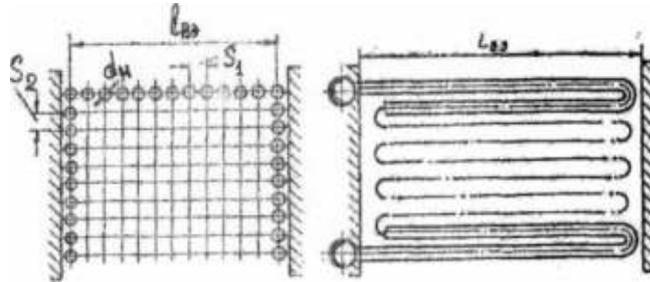


Рис.15. Компоновка водяного экономайзера.

Площадь живого сечения определяют по формуле $F_{\text{эз}} = [l_{\text{эз}} - (z_1 - 1) \cdot d_n] \cdot L_{\text{эз}}, \text{ м}^2$

$z_1 = \frac{l_{\text{эз}}}{S_1} + 1$ - количество трубок в одном ряду.

Расчётную скорость газов вычисляют по формуле (табл.3 п.15). Далее определяют коэффициент теплопередачи $K_{\text{вэ}}$, и средний температурный напор $\Delta t_{\text{эз}}$, а затем вычисляют поверхность нагрева экономайзера, воспользовавшись уравнением теплопередачи.

$$H_{\text{эз}} = \frac{Q_{\text{эз}}}{K_{\text{эз}} \cdot \Delta t_{\text{эз}}} \quad (20)$$

После определения $H_{\text{вэ}}$ приступают к окончательной компоновке экономайзера. Выбирают диаметр и шаги трубок экономайзера и компонуют схему трубной части с помощью эскиза (рис. 15).

Таблица 9. Рекомендации по конструированию стальных водяных экономайзеров

Наружный диаметр труб, мм	28, 30, 32, 38
Расположение труб в пучке	Шахматное
Скорость дымовых газов, м/с:	
- при нормальной производительности	От 6 до 12-15
- при сжигании природного газа	До 20
Скорость воды в трубах, м/с:	
- некипящих водяных экономайзеров	Не менее 0,4
- кипящих водяных экономайзеров	Не менее 0,8
Относительный шаг труб, мм:	
- по ширине газохода	От 2 до 3; наилучший от 2,3 до 2,5
- глубине газохода	От 1,0 до 1,5
Целесообразно иметь одинаковые проходы для газов, что получается при $S_1 - d = 2(S_2 - d)$, где S_1 - шаг труб диаметром d по ширине; S_2 - шаг труб по диагонали.	
Радиусгиба труб	От 1,5 до $2,0d$, считая по наружному диаметру
Высота пакета труб по условиям ремонтно-пригодности, м	0,9 - 1,2 с разрывом между пакетами не менее 0,7

П р и м е ч а н и е: Для водяных экономайзеров целесообразно применение стальных труб с плавниками или оребрением.

Общее количество рядов трубок определяют по формуле:

$$z_2 = \frac{H_{\text{вэ}}}{\pi d_n L_{\text{вэ}} z_1} \quad (21)$$

Необходимая площадь поверхности нагрева экономайзера определяется с учетом формулы (22):

$$Q_{\text{вэ}} = Q_{\text{пт}}'' - Q_{\text{возд}} - Q_{\text{уг}} \quad (22)$$

где: $Q_{\text{пт}}''$, $Q_{\text{возд}}$, $Q_{\text{уг}}$ - теплота продуктов сгорания за пароперегревателем, подогретого воздуха и уходящих газов, кДж/кг. После определения поверхности нагрева и числа змеевиков стального змеевикового экономайзера длину змеевика вычисляют по формуле:

$$l_{\text{зм}} = \frac{H_{\text{вэ}}}{n \cdot \pi \cdot d_n}, \text{ м} \quad (23)$$

Затем уточняют расчет и размещают поверхности нагрева. Расчет водяного экономайзера удобно выполнить в форме табл.10.

Таблица 10. Порядок расчёта теплообмена в водяном стальном экономайзере (примерная форма таблицы) [7, 6]

Величина	Обозначение	Ед. изм.	Расчетная формула или способ определения	Числ. знач.
1	2	3	4	5
1. Энтальпия газов за пароперегревателем	$H_{\text{вэ}}''$	кДж/кг	Из табл. H, θ	.....
2. Температура газов за пароперегревателем	$\theta_{\text{пт}}''$	$^{\circ}\text{C}$	» » »	.....
3. Температура питательной воды, поступающей в экономайзер	$t_{\text{вэ}}'$	$^{\circ}\text{C}$	Из табл. вод. пара	.....
4. Энтальпия питательной воды	$h_{\text{вэ}}'$	кДж/кг	» » »	.....
5. Количество теплоты, использованной на подогрев воды в экономайзере	$Q_{\text{вэ}}$	кДж/час	По формулам	.....
6. Энтальпия воды на выходе из экономайзера	$h_{\text{вэ}}''$	кДж/час	По формулам	.....
7. Температура воды на выходе из экономайзера	$t_{\text{вэ}}''$	$^{\circ}\text{C}$	Из таблицы вод. пара $i_{\text{вэ}}$ и $p_{\text{к}}$	.....
8. Энтальпия газов за экономайзером	$H_{\text{эб}}''$	кДж/кг	По формулам	.....
9. Температура газов за экономайзером	$\theta_{\text{вэ}}''$	$^{\circ}\text{C}$	Из диаграммы H, θ	.....
10. Средний температурный напор	$\Delta t_{\text{вэ}}$	$^{\circ}\text{C}$	По формулам	.....
11. Коэффициент омывания поверхности нагрева	ω	-	Выбирается	.....
12. Диаметр трубок:				
- наружный	d_n	мм	Принимается	.....
- внутренний	$d_{\text{вн}}$	мм	» » »	.....

Продолжение табл.10

1	2	3	4	5
13. Шаг трубок:				
- поперечный	S_1	мм	» » »	.....
- продольный	S_2	мм	» » »	.....
- поперечный относительный	σ_1	-	$\frac{S_1}{d_n}$	.....
- продольный относительный	σ_2	-	$\frac{S_2}{d_n}$	.....
14. Поперечный размер экономайзера	$l_{\text{эз}}$	м	Из эскиза котла	.....
15. Количество трубок в одном ряду	z_1	-	$\frac{l_{\text{эз}}}{S_1} + 1$	.....
16. Площадь живого сечения для прохода газов	$F_{\text{эз}}$	м ²	По формуле (19)	.....
17. Средняя температура газового потока	$\theta_{\text{эз}}^{\text{ср}}$	°С	По формуле (14)	.....
18. Средняя скорость газового потока	$\omega_{\text{эз}}^{\text{ср}}$	м/сек	По формуле	.....
19. Поправочные коэффициенты:				
- на количество рядов трубок	C_z	-	Из номограммы	.....
- на изменение физических свойств	C_ϕ	-	то же	.....
20. Коэффициенты теплоотдачи конвекцией:				
- из номограммы	α_n	Вт/(м ² ·°С)	то же ω_2 и d_n	.....
- расчетный	α_k	Вт/(м ² ·°С)	α_n, C_z, C_ϕ	.....
21. Коэффициент загрязнения	ξ	(м ² ·°С)/Вт	Выбирается	.....
22. Коэффициент теплопередачи	$K_{\text{эз}}$	Вт/(м ² ·°С)	По формуле	.....
23. Поверхность нагрева водяного экономайзера	$H_{\text{эз}}$	м ²	По формуле (20)	.....
24. Количество рядов трубок	z_2	шт	По формуле (21)	.....

4. Примеры компоновок котлоагрегатов водяными чугунными экономайзерами по его газовому и водяному трактам

4.1 Водяной тракт котлоагрегата [1, 2, 8, 10, 11]

В каждом пакете: по высоте не должно быть более 25 рядов, а высота не должна превышать 1,5 м. Между пакетами предусматривают разрывы высотой 550-600 мм для размещения обдувочных устройств.

Все индивидуальные водяные экономайзеры присоединяют к газовому тракту котла без устройства обводных боровов; обводные борова применяют лишь при групповых экономайзерах; в этом случае на обводных газоходах устанавливают последовательно обязательно две заслонки, чтобы избежать перетечек газа помимо поверхностей нагрева.

Для лучшего удаления воздуха из воды, нагреваемой в экономайзерах, необходимо, чтобы она обязательно перемещалась снизу вверх. Движение же газов целесооб-

разно принять по принципу противотока. В двухколонковых экономайзерах, чтобы обеспечить противоток в первой колонке (рис. 16), необходимо осуществлять подвод нагреваемой воды на вторую колонку по ходу газов. **Температура воды при входе в экономайзер любого типа должна быть на 5-10 °С выше точки росы.**

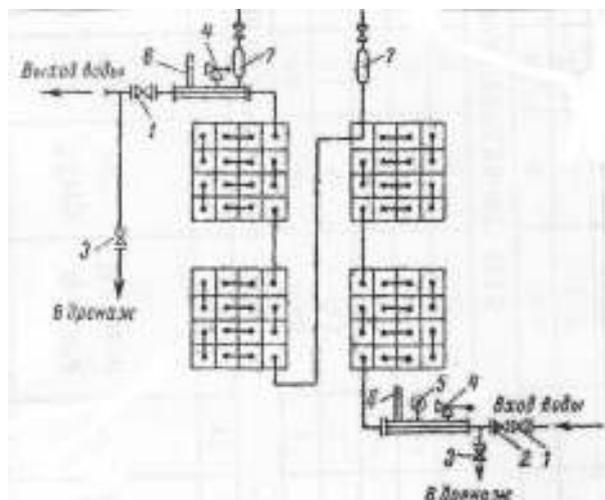


Рис. 16. Схема включения трубчатого экономайзера в систему ВТИ по ходу воды и расположение арматуры [12].

1 - запорная арматура; 2 - обратный клапан; 3 - дренажный вентиль; 4 - предохранительный клапан; 5 - манометр; 6 - термометр; 7 - воздушник (вантуз).

Схемы включения некипящих и кипящих водяных экономайзеров в общий водяной тракт парогенератора различны. В соответствии с требованием правил Госгортехнадзора чугунные экономайзеры должны быть отключаемыми по водяному тракту и тракту продуктов сгорания (иметь обводный газоход для пропускания продуктов сгорания мимо экономайзера). Притом, правилами Госгортехнадзора решено выполнять индивидуальные чугунные экономайзеры неотключаемыми по водному тракту при условии непрерывного питания котла водой с помощью автоматического регулятора, устанавливаемого на входе воды в экономайзер.

Обводный газоход для отключения индивидуального водяного экономайзера по тракту продуктов сгорания необязателен при наличии сгонной линии, обеспечивающей постоянный пропуск воды через экономайзер в случае повышения температуры после него. Пользоваться сгонной линией приходится при растопке котла. Схема включения чугунного экономайзера с устройством сгонной линии и размещением необходимой арматуры показана на рис. 17 [1, 9].

Стальные экономайзеры, в которых допускается закипание воды, как правило, выполняются не отключаемыми по водяному тракту и тракту продуктов сгорания. Во избежание превращения всей воды, находящейся в экономайзере, в пар при растопке парогенератора предусматривается рециркуляционная линия. Эта линия соединяет входной коллектор экономайзера с барабаном парогенератора и обеспечивает поступление воды в экономайзер при её испарении в период растопки. На линии рециркуляции устанавливается вентиль, который открывается при растопке парогенератора и закрывается при включении

парогенератора в паровую магистраль. **Схема включения стального экономайзера с линией рециркуляции и необходимой арматурой показана на рис. 18.**

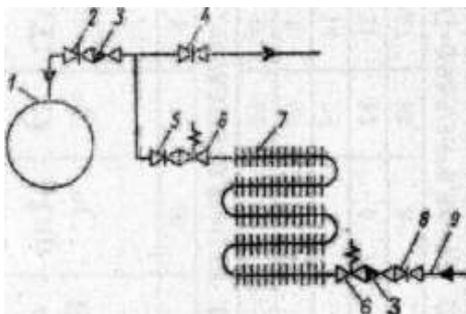


Рис. 27. Схема включения чугунного экономайзера.

1 - барабан парогенератора; 2 - запорный вентиль; 3 - обратный клапан; 4 - вентиль на сгонной линии для подачи воды в деаэратор; 5 - вентиль после водяного экономайзера; 6 - предохранительный клапан; 7 - чугунный водяной экономайзер; 8 - вентиль перед водяным экономайзером; 9 - линия подачи воды от питательного насоса.

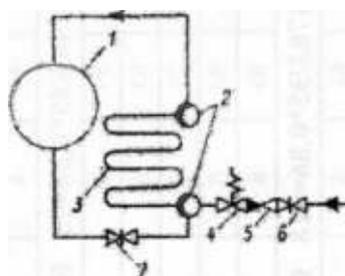


Рис. 28. Схема включения кипящего водяного экономайзера.

1 - барабан парогенератора; 2 - коллектор водяного экономайзера; 3 - водяной экономайзер; 4 - предохранительный клапан; 5 - обратный клапан; 6 - запорный вентиль; 7 - вентиль на линии рециркуляции.

По условиям компоновки, как самого экономайзера, так и котлоагрегата, **чугунные экономайзеры выполняются с последовательным расположением групп по высоте - одноколонковые экономайзеры, в две колонки - с параллельным расположением групп. Между колонками устанавливается металлическая перегородка.** Вода, поступающая в водяной экономайзер, подается к нижнему ряду труб, последовательно в каждую трубу, и затем - в следующий ряд. Пройдя одну колонку, она подается в нижний ряд следующей колонки (дзухколонковые экономайзеры) или выходит прямо в котёл (одноколонковый экономайзер). **В зависимости от количества воды и получаемой при этом скорости в каждой колонке может быть несколько параллельных ветвей, при этом общее гидравлическое сопротивление экономайзера рекомендуется в пределах до 1 ата.** В двухколонковых экономайзерах холодная вода должна поступать в нижний ряд труб второй по ходу газов колонки. На рис. 19 показана схема соединения труб по воде унифицированной серии экономайзеров.

К котлоагрегатам средней производительности Белгородский котлостроительный завод поставляет водяные экономайзеры из чугунных ребристых труб конструкции ВТИ длиной 2 м россыпью, со сборкой на монтажной площадке.

Экономайзеры собираются в группы с числом горизонтальных рядов от 4 до 10, 12, 14, 16 и 18, числом труб в ряду 2 до 8, поверхностью нагрева от 23,6 до 424,8 м².

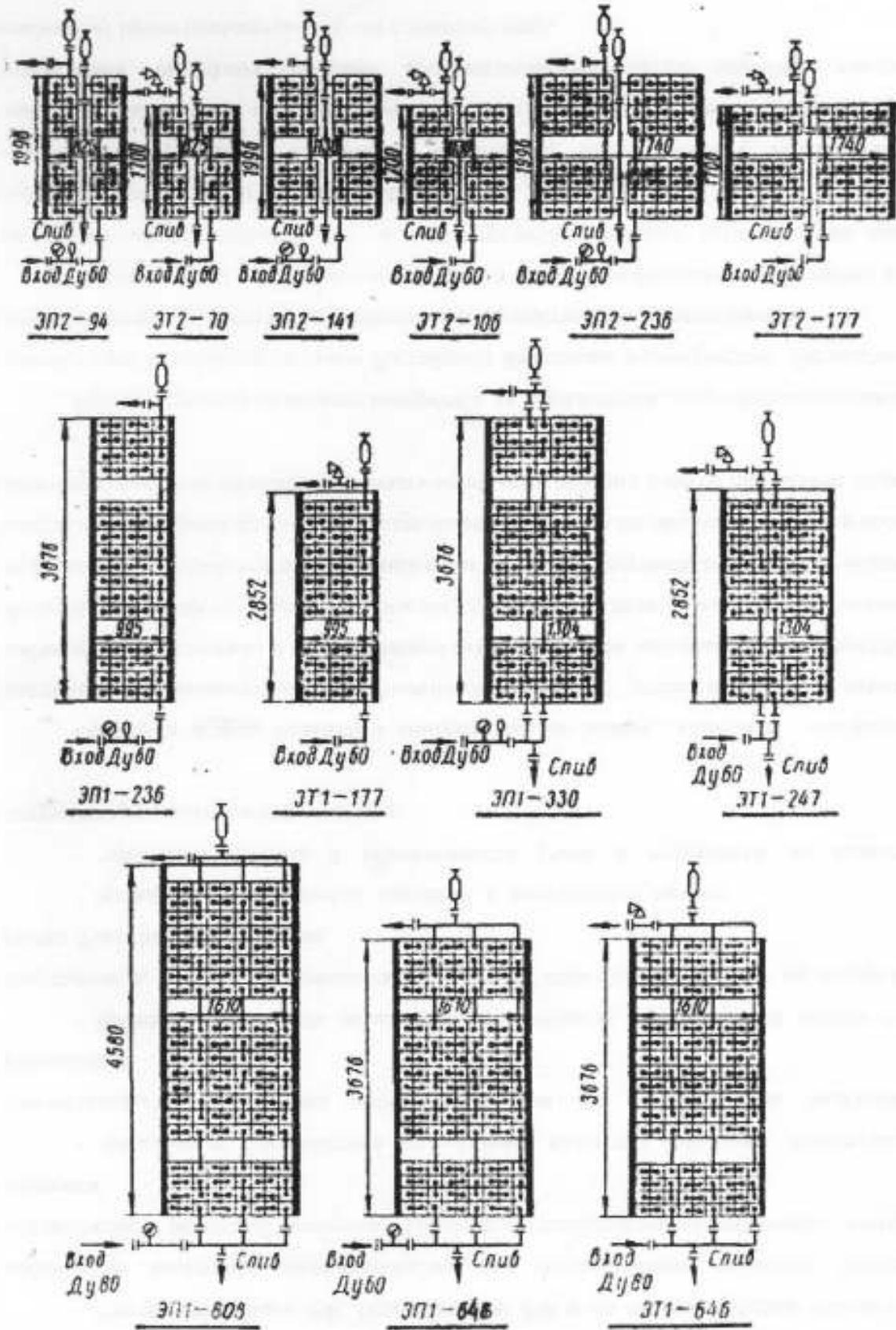


Рис. 19. Схемы соединения труб унифицированной серии экономайзеров

Трубы экономайзеров соединяются чугунными калачами так, чтобы питательная или сетевая вода последовательно проходила все трубы горизонтального ряда и поступала в следующий верхний ряд. Такое движение воды необходимо как для удаления образующихся при нагревании газов, так и водяных паров. Выделяющиеся при нагревании газы, вследствие понижения их растворимости, поднимаются вверх и удаляются через вантуз, установленный на выходе из верхнего ряда труб каждой колонки. Образующийся пар может свободно поступать в барабан, котла, для чего верхний коллектор экономайзера должен быть установлен ниже оси барабана котла (см. рис. 18).

4.2 Компоновка козлов с хвостовыми поверхностями нагрева по газовому тракту

4.2.1 Компоновкой котельного агрегата называют его общее устройство. Этот термин имеет синонимы - компоновочная схема, конструктивная схема или профиль К.А. [3, 4, 5, 6, 10]. Это понятие относится как к К.А. в целом, так и к отдельному его элементу (например, к паровому котлу, к водогрейному котлу и т.д.).

Котельный агрегат представляет собой систему газозвдушного и пароводяного трактов, которые включают в себя: 1) топку; 2) поверхности нагрева: воздухо-нагревательные, водоподогревательные, водонагревательные, испарительные, пароперегревательные; 3) элементы и узлы: каркас, обмуровку, гарнитуру, трубопроводы в пределах К.А. с паровой и регулирующей арматурой, лестницы и площадки; 4) вспомогательные устройства и механизмы: дутьевую и дымовую установки с газозвдушными трубами, углеразмольные мельницы с пылепроводами, элементы топливоподачи в пределах К.А., шлакоудаляющие и золоулавливающие устройства; 5) систему автоматического регулирования.

Под компоновкой котлоагрегата (К.А.) понимают удобное для эксплуатации взаимное расположение указанных частей, определяющих направление движения рабочих тел в котлоагрегате и в котельной установке в технологическом процессе производства теплоносителя (водяного пара, горячей воды). Компоновка поверхностей нагрева может быть одноходовой и многоходовой. Одноходовой называется компоновка, когда все поверхности нагрева расположены в одном газоходе и движение дымовых газов производится без поворота в горизонтальном или вертикальном направлениях; применялась в котлах устаревших конструкций (цилиндрические, вертикальные, комбинированные с жаровой трубой и т.д.).

Многоходовая - когда имеются газоходы в горизонтальной или вертикальной плоскости, при продольном или поперечном омывании поверхностей нагрева. В современных К.А. могут быть применены горизонтальная, Г - образная, П - образная, башенная (см. рис. 20) и др. компоновки [8, с.124...125].

Горизонтальная - движение дымовых газов горизонтальное попереносное с несколькими поворотами в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Горизонтальная компоновка применена в двухбарабанных котлоагрегатах типов Е, КЕ, ДЕ, ДКВр и некоторых других, рассчитанных на давление 4 МПа и температуру перегретого пара 450 °С.

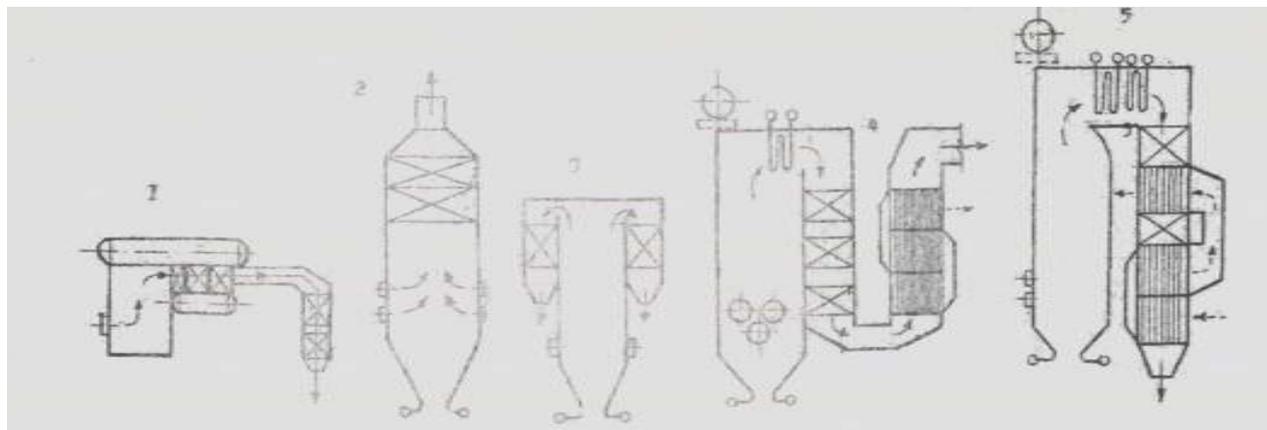


Рис. 20. Схемы компоновки котлоагрегатов [8, рис.9-1, с.124]

1 - горизонтальная; 2 - башенная; 3 Т-образная; 4 - П-образная сомкнутая; 5 - П-образная разомкнутая.

4.2.2 Примеры компоновки чугунных водяных экономайзеров ВТИ с котлами типа ДКВр.

Компонуется чугунные водяные экономайзеры из труб конструкции ВТИ в тяжелой и легкой обмуровке вертикальными колонками. **Рациональна компоновка чугунного водяного экономайзера блоками, например, из груб длиной 2000 мм, собранными на специальном каркасе 1, с изолинией и металлической обшивкой при массе блока от 3,7 до 16,2 т (рис. 21) [5, рис. 5-12,с.192]**

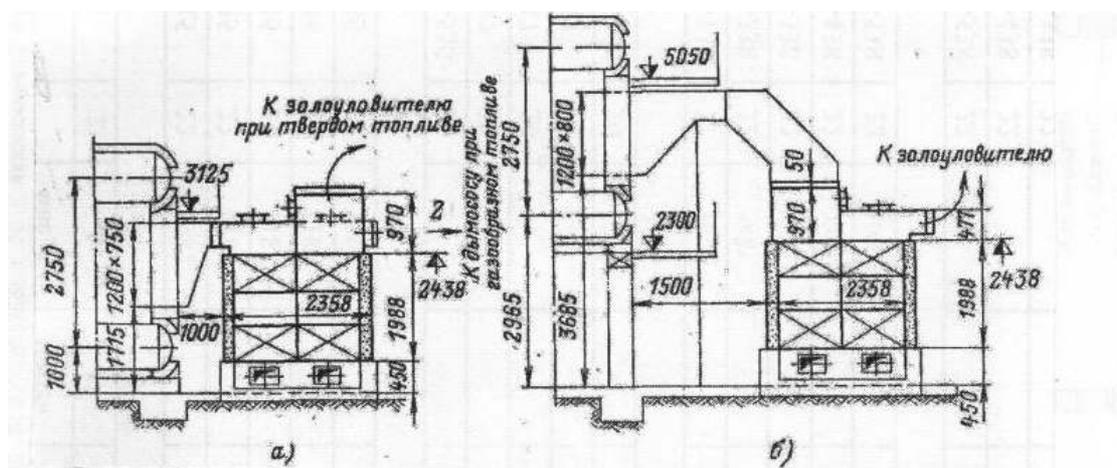


Рис. 21. Примеры компоновки чугунных водяных экономайзеров ВТИ с котлами типа ДКВр, КЕ при расположении барабанов низком (а) и высоком (б) [5, 10, 11]

В компоновках с верхним выходом дымовых газов одинаковы высота и глубина колонки (рис 21,а). Экономайзеры соединены с последним газоходом котла металлическим, изолированным коробом. При скорости дымовых газов 6-8 м/с значение коэффициента теплопередачи в экономайзере составляет 16-19 Вт/(м²·К) или 14-16 ккал/(м²·ч·°С). Скорость воды в трубах чугунного водяного экономайзера следует выбирать от 0,5 до 1,0 м/с. Гидравлическое сопротивление может быть найдено из выражения, Па или кгс/м²:

$$\Delta p = 4,4 \cdot \omega^2 \cdot z \quad (24)$$

где: ω - скорость воды, м/с; z - число последовательно включенных труб, шт.

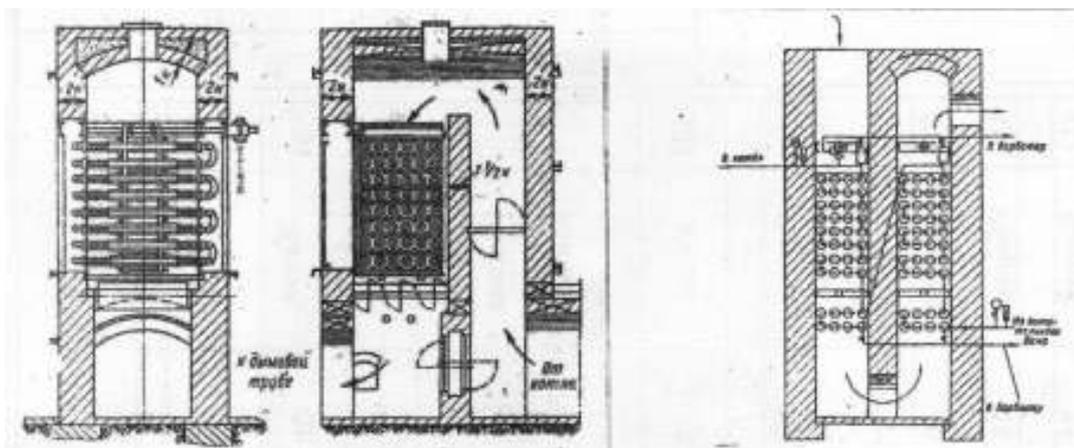


Рис. 22. Компоновка группового чугунного экономайзера в кирпичной обмуровке с обводным газоходом [10, 11]

Рис. 23. Схема перемещения воды по экономайзеру 2-х колонковому [10, 11]

В зависимости от количества труб экономайзеры устанавливают различным способом, но, подобно котлам, либо обмуровывают кирпичной кладкой (рис. 22), либо поставляют в виде транспортабельных, собранных на заводе, блоков. В настоящее время блочные экономайзеры разработаны для использования в качестве как питательных (ЭП), так и теплофикационных (ЭТ) (см. Рис. 7, 8 и табл. 4, 5, 6, 7) [5, 8, 9...13].

По компоновке водяные экономайзеры рекомендуется выполнять так, как это и показано на рис. 25, 24 т.е. обычно сзади котла. При подобной компоновке водяного экономайзера расстояние от заднего торца барабанов до стены котельной должно составлять от 3 до 5 м. Такие расстояния не всегда могут иметься, хотя в унифицированных котельных ячейках предполагается установка водяных экономайзеров, поставляемых Кусинским машиностроительным заводом, собранных в транспортабельные блоки.

Учитывая возможность отвода газов в котлах ДКВ и КЕ, ДКВр с любой стороны, за счёт изменения расположения перегородок в газоходах собственно котла, можно осуществить подобную компоновку водяного экономайзера и с правой стороны котла.

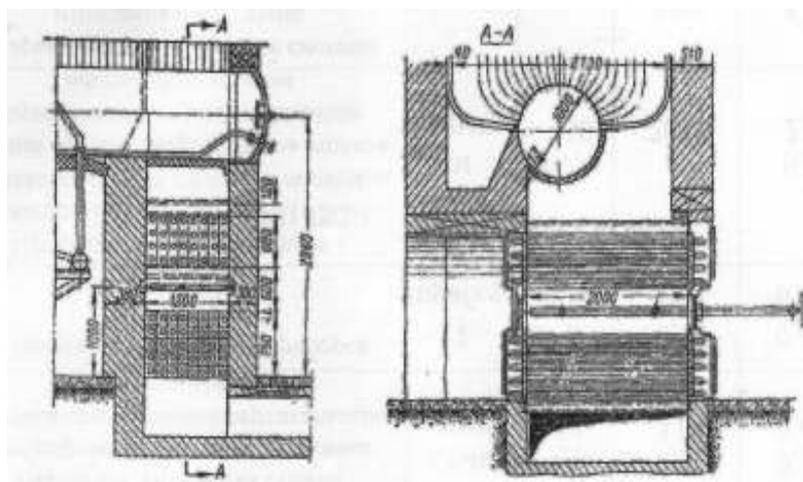


Рис. 26. Компонка водяного экономайзера системы ВТИ сбоку котлов ДКВ и ДКВр-10-13 [12,рис.8-5,с.146]

Таблица 12. Конструктивные характеристики водяных экономайзеров при установке их параллельно оси котла (рис.26)

Наименование	Тип котла ДКВр		
	2,5-13	4-13	6,5-13
Количество труб в ряду колонки	3	4	6
Число рядов труб по ходу газов	9	9	9
Поверхность нагрева, м ²	59*	106,4	159
Ширина колонки в свету А, мм	450	600	900
Расстояние от оси барабана до края газохода экономайзера Б, мм	2240	2240	3070
Ширина котла с газоходом экономайзера В, мм ..	3335	3485	4415
Ширина выходного окна для газов Г, мм	350	650	850
Высота выходного окна для газов Д, мм	650	700	700

Примечание: Для котлов ДКВр-2,5-13 предусматриваются трубы длиной 1500 мм.

Таблица 11. Конструктивные характеристики водяных экономайзеров (см.рис. 24, 25)

Наименование	Котлы ДКВр, КЕ			
	2,5-13	4-13	6,5-13	10-13
Количество труб в ряду колонки.....	2	3	4	7
Максимальное число рядов труб по ходу газов.....	16	16	16	16
Наибольшая поверхность нагрева, м ²	94,5	141,5	189	331
Рекомендуемое число рядов труб по ходу газов.....	14	12	14	14
Рекомендуемая поверхность нагрева, м ²	82,5	106,4	165	289
Ширина колонки в свету А, мм.....	300	450	600	1050
Ширина водяного экономайзера Б, мм..	850	1150	1550	2350
Высота выходного окна В, мм.....	880	880	1200	1200
Ширина выходного окна Г, мм.....	540	540	565	800
Расстояние нижней кромки выходного окна от пола Д, мм.....	2175	2175	1715	3685
Смещение оси водяного экономайзера от оси барабана Е, мм.....	805	805	1195	965

Примечание: Рекомендуемая поверхность нагрева дана для котлов, вырабатывающих пар при номинальной паропроизводительности. Верхние два ряда труб являются сменными.

Сокращение кубатуры котельной ячейки достигается при компоновке одноколлонковых экономайзеров сбоку котлоагрегата для котлоагрегатов паропроизводительностью от 0,695 до 1,8 кг/сек (см.рис. 26) и под котлоагрегатом для паропроизводительности 2,78 - 9,73 кг/сек (см.рис. 27). В верхнем газоходе экономайзера предусматривают лаз для очистки труб, а для газомазутных котлоагрегатов также и взрывные клапаны (см. рис. 22, 21).

Возможно принять компоновку водяного экономайзера в габаритах обмуровки. В этих котлах дымовые газы, пройдя последний газоход с кипяtilьными трубами уходят вниз мимо нижнего барабана в газоход водяного экономайзера, размещаемого под котлом, как это видно из рис. 27. При такой компоновке отношение сечения выходного отверстия из последнего газохода к сечению газохода водяного экономайзера можно получить равным 0,4 и более. Кроме того, первый по ходу газов ряд труб водяного экономайзера располагается при этом на расстоянии больше 1м. от самого узкого сечения окна для выхода дымовых газов из котельного пучка [12, с.146]

4.2.3 Примеры размещения котлоагрегатов в здании котельной установки

На рис. 28 приведены в схематическом виде поперечные разрезы котельных ячеек для котлов ДКВр, КЕ, работающих на твердом топливе, а на рис. 29 – для котлов ДКВр, работающих на мазуте или газе [10, 11]

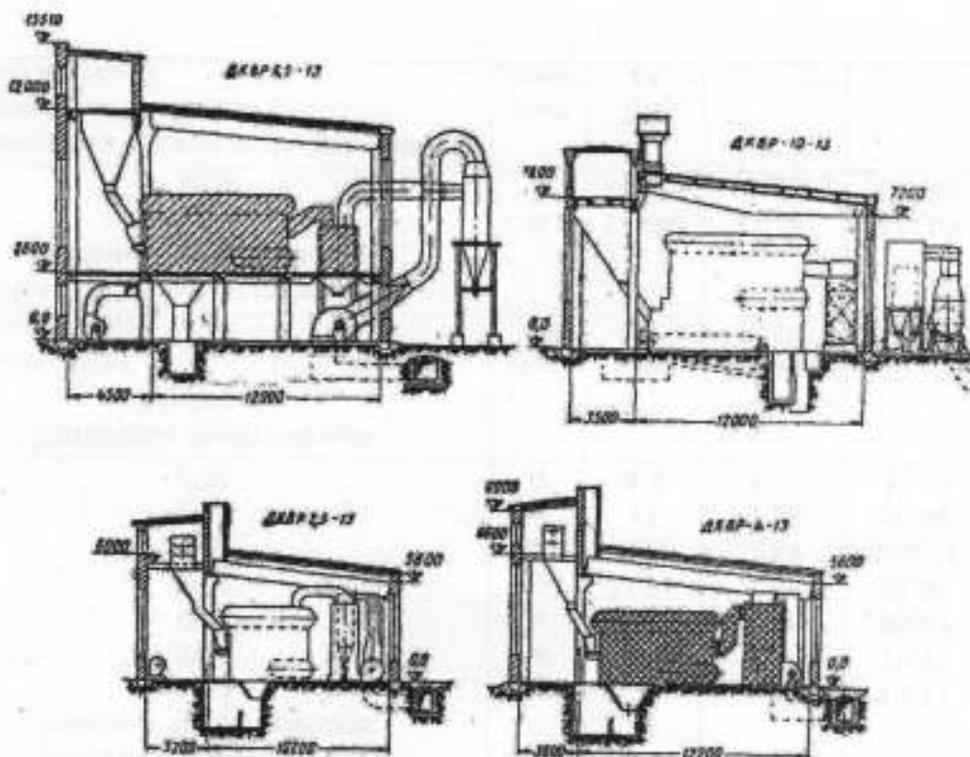


Рис. 28. Некоторые типовые решения размещения котлов типа ДКВр, КЕ при работе на твердом топливе.

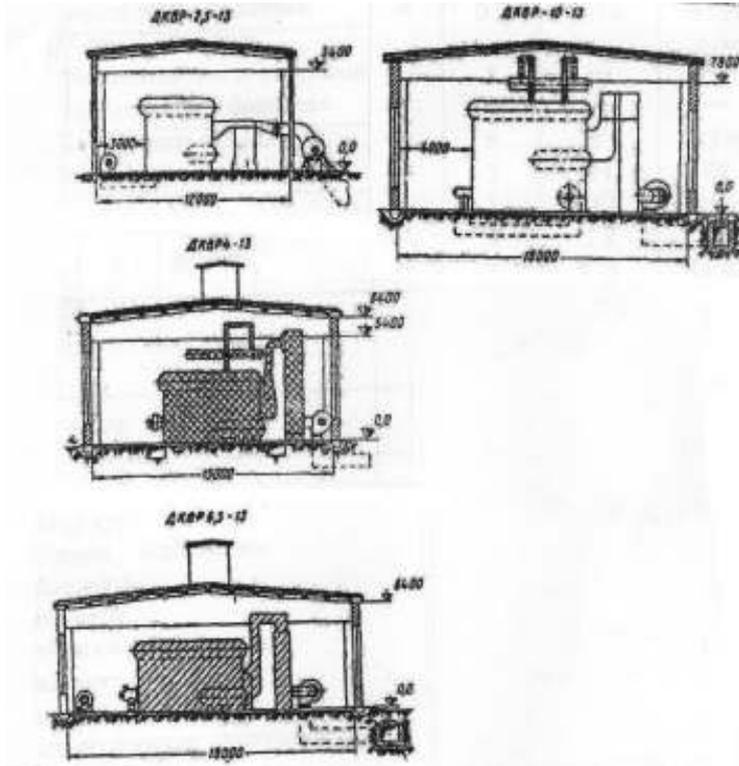


Рис. 29. Некоторые типовые решения размещения котлов типа ДКВр при работе на жидком или газовом топливе.

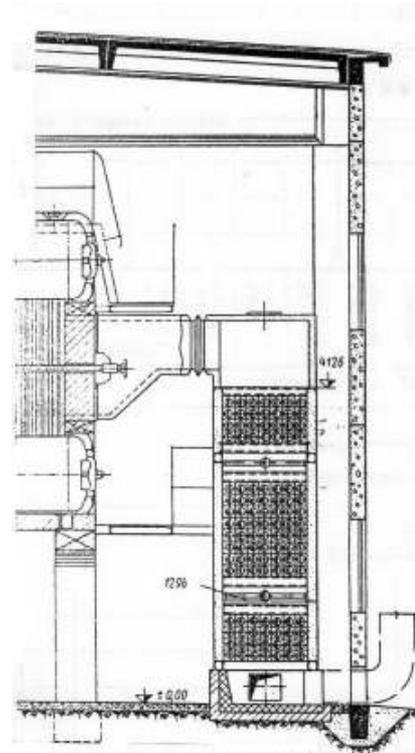


Рис. 30. Установка одноколлектовых экономайзера ВТИ за котлом ДКВр-10-13

Источники

1. СНиП II-35-76* Котельные установки. Нормы проектирования (с изменением №1).- Изменение №1 утверждено Госстроем России от 11.09.97г №18-52 и внесено в текст документа; изменённые пункты отменены*. - М.: Госстрой России, 1977.
2. ПБ 10-574-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов. Серия 10. Выпуск 24.-М.: Государственное. унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности промышленности Гостехнадзора России», 2003.-216с.
3. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) Под ред. Н.В. Кузнецова и др. – М.: Энергия , 1973.-296с.: ил.
4. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). - Изд.3, перераб. и дополн. // Под ред. С.Н. Мочана, А.А. Абдютина, Г.М. Качана, В.С. Назаренко. - Санкт-Петербург: РАО «ЕЭС России», АОО ВТИ, АОО НПО ЦКТИ, 1998.-299с.:ил.
5. Роддатис К.Ф. Котельные установки: Учеб. пособие для студентов неэнергетических специальностей ВУЗов. - М: «Энергия», 1977.-432с.:ил.
6. Ковалев А.П. и др. Парогенераторы: Учебник для ВУЗов/А.П.Ковалев, Н.С. Лелеев, Т.В. Виленский; Под общ. ред. А.П. Ковалева. - М.: Энергоатом издат, 1985.-376с.:ил.
7. Грузберг Я.Ю. Судовые паровые котлы. - Л.: Судостроение, 1964.-253с.:ил.
8. Либерман Н.Б., Нянковская М.Т. Справочник по проектированию котельных установок систем центрального теплоснабжения: (Общие вопросы проектирования и основное оборудование).-М.: «Энергия», 1979.-224с.:ил.
9. Александров В.Г. Паровые котлы малой и средней мощности.-2-е изд., перераб. и дополн. - Л.: Энергия, 1972.-200с.:ил.
10. Гусев Ю.Л. Основы проектирования котельных установок. - М.: Стройиздат, 1967.:ил.
11. Гусев Ю.Л. Основы проектирования котельных установок. 2-е изд., перераб. и дополн. - М.: Стройиздат, 1973.-248с.:ил.
12. Бузников Е.Ф. Перевод котлов ДКВ и ДКВр на газообразное топливо.- М...Л.: Энергия, 1964.- с.:ил.
13. Климов Г.М. Проектирование парового котельного агрегата: учебно-методические указания по курсовому проектированию для студентов специальности ТГВ. - Горький: ГИСИ им. В.П. Чкалова, 1969.-92с.:ил.
14. Климов Т.М., Гордеев А.В., Чалов А.П. Тепловой расчет котельного агрегата (Пример 1): методическая разработка к курсовой работе по дисциплине ТГУ для студентов специальности 290700ТГВ.-Нижний Новгород: ННГАСУ, 1998.-35с.:ил.

Приложение А (справочное)

Таблица. Присосы воздуха в газоходах котельных агрегатов при номинальной нагрузке

Газоходы		Величина присоса Δa
Топочные камеры пылеугольных и газомазутных котлов	Камерные с твердым шлакоудалением и металлической обшивкой труб экрана	0,05
	То же при наличии обмуровки и обшивки	0,07
	То же без металлической обшивки	0,1
	Камерные с жидким шлакоудалением и газомазутные с металлической обшивкой	0,05
	То же без металлической обшивки	0,08
	Циклонные под разрежением	0,03
Топочные камеры слоевых топок	Механические и полумеханические	0,1
	Ручные	0,3
Газоходы конвективных поверхностей нагрева	Фестон, ширмовый перегреватель в верху топки, первый котельный пучок $D > 50$ т/ч	0
	Первый котельный пучок $D \leq 50$ т/ч	0,05
	Второй котельный пучок $D \leq 50$ т/ч	0,1
	Первичный перегреватель	0,03
	Промежуточный перегреватель	0,03
	Переходная зона прямоточного котла	0,03
	Экономайзеры котлов $D > 50$ т/ч, для каждой ступени	0,02
	Экономайзеры котлов $D \leq 50$ т/ч:	
стальной	0,08	
чугунный с обшивкой	0,1	
чугунный без обшивки	0,2	
Газоходы конвективных поверхностей нагрева	Воздухоподогреватели:	
	трубчатые:	
	для котлов $D > 50$ т/ч, на каждую ступень	0,03
	для котлов $D \leq 50$ т/ч, на каждую ступень	0,06
	регенеративные (вместе горячая и холодная набивки):	
	для котлов $D > 50$ т/ч, на каждую ступень	0,2
	для котлов $D \leq 50$ т/ч, на каждую ступень	0,25
пластинчатые, на каждую ступень	0,1	
чугунные:		
из ребристых труб, на каждую ступень	0,1	
из ребристых труб, на каждую ступень	0,2	
Золоуловители	Электрофильтры:	
	для котлов $D > 50$ т/ч	0,1
	для котлов $D \leq 50$ т/ч	0,15
	Циклонные и батарейные, скрубберы	0,05
Газоходы за котельным агрегатом	Стальные (каждые 10 м длины)	0,01
	Кирпичные борова (каждые 10 м длины)	0,05

Климов Геннадий Матвеевич

Климов Михаил Геннадьевич

Водяные экономайзеры котельных агрегатов. Методическая разработка для студентов очной и заочной форм обучения специальностей 140104.65 Промышленная теплоэнергетика, 270109.65 Теплогазоснабжение и вентиляция, 280101.65 Безопасность жизнедеятельности в техносфере, 200503.65 Стандартизация и сертификация, 270115.65 Экспертиза и управление недвижимостью.

Подписано к печати Формат 60x90 1/8

Бумага газетная. Печать офсетная

Уч.изд. л. Усл.печ.л.Тираж 300 экз.

Заказ №

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ)
603950, Н.Новгород, Ильинская, 65

Полиграфцентр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65