

**УТИЛИЗАЦИОННЫЕ
УСТАНОВКИ
В
ЭНЕРГОСИСТЕМЕ
ПРОМЫШЛЕННОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ**

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
УТИЛИЗАЦИОННЫХ
УСТАНОВОК**

Горючие ВЭР используются в качестве топлива для различных технологических (ТА) и энергетических агрегатов (ЭА), поэтому специальных утилизационных установок (УУ) для их использования не требуется (кроме случая, например, с использованием конвертерного газа).

ТА и ЭА надо приспособлять к сжиганию данного вида ВЭР (например паровые котлы к сжиганию доменного газа).

Эффективное использование горючих ВЭР требует их распределения по отдельным потребителям с учетом качественных показателей (пирометрический эффект, светимость, отсутствие серы и других вредных примесей и т. п.).

является одной из задач рационального построения ТЭС ПП.

Проблемой является максимальное снижение потерь горючих газов из-за расхождений графиков прихода и расхода этих газов, которые определяются режимами работы ТА.

Избыточное против атмосферного или нужного потребителю давление газов и жидкостей используется в специальных газовых и гидравлических турбинах на выработку ЭЭ.

Такие УУ вписываются в ТЭС ПП, так как подключаются к электросети завода (затем к районной) и вырабатываемая ими ЭЭ при любом графике ее выработки полностью

Снимается и проблема выравнивания мощности УУ.

Пример: во время перерывов выхода доменного газа утилизационная турбина ГУБТ переходит на моторный режим, при котором **электрогенератор ГУБТ начинает работать как электродвигатель.** Когда приход газа восстанавливается, ГУБТ и ее электрогенератор автоматически переходят на свой нормальный режим без потребности в синхронизации генератора. Во избежание перегрева турбины во время моторного режима, когда ГУБТ потребляет мощность около **800 кВт**, длительность моторного режима не допускают обычно более **5-10** **мин**

УУ, использующие ВЭР в виде физической теплоты (различных газов, горячей продукции, теплоты охлаждения элементов агрегатов и т.п.), **вырабатывают водяной пар** различных параметров и **сравнительно редко - горячую воду или горячий воздух** для целей сушки, подогрева сырья.

Рациональный выбор параметров пара и других ЭР от УУ с комплексным учетом общезаводских интересов является сложной задачей, поэтому среди заводских теплоэнергетиков нет единого мнения по этому вопросу.

Основные аспекты этой проблемы рассматриваются ниже.

**ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ
ПАРА
УТИЛИЗАЦИОННЫХ
УСТАНОВОК**

На паросиловых установках (ПСУ), работающих на топливе, выбор оптимальных параметров пара практически однозначно определяется единичной мощностью турбин (объемным расходом пара через их головные части). Чем выше параметры пара, тем выше термический КПД цикла Ренкина η_t , по которому работают ПСУ, и тем больше их экономичность.

Выбор оптимальных параметров пара от УУ значительно сложнее, так как приходится учитывать дополнительно целый ряд факторов. Рассмотрим некоторые из них.

В котлах, работающих на топливе, температура продуктов сгорания в топке составляет обычно около **2000 °С**.

Температура уходящих газов перед КУ в большинстве случаев (в черной металлургии) не превышает **400-700 °С**. Вследствие этого отношение $G_{у.г} / D_{п}$ (где $G_{у.г}$ - масса греющих газов в КУ; $D_{п}$ - масса вырабатываемого пара) **во много раз больше, чем в котлах на топливе**. Это, в свою очередь, приводит к тому, что в экономайзере КУ температура уходящих газов может быть снижена только незначительно.

В связи со сравнительно низкой температурой газов на входе в КУ **большое влияние на его паропроизводительность имеет давление вырабатываемого пара,** которым определяется температура испарения воды, а следовательно, и возможное охлаждение греющих газов в испарительной части, в которой отдается основное количество теплоты.

Теплота, отдаваемая потребителям 1 кг пара, сравнительно мало зависит от его давления, так как определяется в основном скрытой теплотой конденсации, поэтому чем ниже давление пара в КУ, тем больше теплоты получит потребитель при том же расходе греющих газов и одинаковой их

круглогодичных потребителей, то нецелесообразно повышать давление пара выше требуемого потребителями, так как это ведет в конечном счете к уменьшению экономии топлива и приведенных затрат.

Высокий перегрев пара (до 435°C) при давлении $3,5$ МПа обычно в КУ не осуществляется из-за нехватки теплоты и, главным образом, по условиям транспорта к потребителям. При высоком перегреве сложнее компенсация тепловых удлинений паропроводов, требуется более дорогой металл и др. Поэтому в КУ пар перегревают до необходимой для его транспорта температуры, а перегрев до 435°C производят в **центральных перегревателях,**

С целью упрощения расчетов (исключения учета расходов топлива в центральном пароперегревателе) примем, что перегрев до 435°C осуществляется в КУ.

Рассмотрим вариант, когда пар от КУ используется в конденсационной турбине.

Приведенные расчеты показали, что при начальной температуре газов $t_{\text{нач}} = 500^{\circ}\text{C}$ паропроизводительность КУ при давлении пара 1,3 МПа больше, чем при давлении 3,5 МПа, в 1,35 раза. Но работоспособность 1 кг пара в турбине Δh_{T} тем больше, чем выше начальные параметры пара.

Мощность турбины $N = D_T \cdot \Delta h_T$ где D_T - расход пара на турбину. При каком давлении пара в КУ будет выработано больше ЭЭ?

Отношение удельных работ пара в турбинах при одинаковых η_{oi} определяется по h, s -диаграмме по известным начальным и конечным параметрам пара, т.е. при **3,5 МПа, 435° С** и **1,3 МПа, 240° С** соответственно.

По h, s -диаграмме находим

$$\Delta h(3,5) / \Delta h(1,3) = 1,34,$$

откуда отношение электрических мощностей турбин составит

$$N_{\text{э}}^{1,3} / N_{\text{э}}^{3,5} = 1,34 / 1,35 \approx 1.$$

Таким образом, увеличение выработки пара в КУ при более низком давлении ~ компенсирует увеличение работоспособности пара более высоких параметров, поэтому при использовании пара в конденсационных турбинах повышение давления пара энергетических преимуществ не дает.

Если учесть расход топлива в центральном пароперегревателе для повышения температуры пара до 435°C , то энергетические показатели УУ будут даже несколько выше при давлении пара 1,3 МПа.

Полученный цифровой результат справедлив при начальной температуре газов $t_{\text{нач}} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\Delta t_{\text{хол}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Когда $t_{\text{нач}}$ выше, например равна $600-700 \text{ }^\circ\text{C}$, преимущество получает повышенное давление пара, и, наоборот, если $t_{\text{нач}} = 350 \div 450 \text{ }^\circ\text{C}$, выгоднее более низкое давление пара в КУ, даже если пар используется в конденсационных турбинах.

Аналогичное положение наблюдается и в парогазовых установках с полной термодинамической надстройкой.

Таким образом, выбор оптимального давления пара в КУ резко отличается от выбора его для обычных силовых установок.

Выбор давления пара УУ должен обосновываться расчетами с учетом баланса производственного пара на предприятии и построения его ТЭС ПП.

Так, если вблизи УУ имеются потребители пара давлением **0,4-0,8 МПа**, как, например, это имеет место на **УСТК**, которые располагаются вблизи химических производств коксохимических заводов, то применение повышенного давления (**3,5 МПа**) позволяет использовать **турбины с противодавлением**, что повышает энергетические и экономические показатели УУ. В пользу повышения давления пара на **УСТК** говорит и то, что на них начальная температура газа перед КУ в среднем

Есть и технические причины, требующие повышения давления в КУ:

в цветной металлургии при переработке сырья, содержащего много серы, давление пара часто повышают **до 9 МПа** с целью иметь температуру стенок труб КУ, превышающую температуру конденсации сернистых соединений.

В связи с небольшой паропроизводительностью таких КУ пар давлением **9 МПа** затем дросселируется.

Особо стоит вопрос в тех случаях, когда пар от УУ с параметрами **3,5 МПа, 435° С** летом не находит потребителей. Не исключено, что избытки пара от УУ будут наблюдаться в течение значительной части годового времени.

Наиболее простым и экономичным путем использования избытков пара от УУ является направление его на существующие турбоустановки, являющиеся приводами крупных турбокомпрессоров, электрогенераторов и других механизмов. Такие турбоустановки с начальным давлением пара **2,9-3,5 МПа** имеются на многих заводах. Надежность пароснабжения этих потребителей может быть обеспечена

электрогенерирующих турбоустановок на
паре от УУ, работающих только летом,
зависит от количества избытков пара, а также
годового числа часов использования
мощности специально сооружаемых
установок.

Если существенные избытки пара имеют место 2-3 месяца в году, то сооружение специальных турбоустановок для его использования экономически нецелесообразно. При небольших избытках пара в течение года наиболее экономичным может оказаться временное отключение части УУ, что позволяет провести летом все капитальные ремонты, а также работы по реконструкции УУ.

При выборе давления пара для КУ необходимо учитывать также требования к питательной воде.

Опыт эксплуатации показал, что КУ змеевикового типа с многократной принудительной циркуляцией при давлении пара **1,2-1,8 МПа** могут полностью питаться катионированной водой, в то время как при давлениях **3,5-4,5 МПа** требуется большая доля конденсата или частичная добавка в несколько раз более дорогой обессоленной воды. При низких давлениях пара в КУ конденсат с производства направляют на ТЭЦ, что значительно удешевляет водоподготовку на ней.

Большинство ТА строится по схеме, показанной на рис. 8.2, а. Горячие газы из рабочего пространства ТА направляются в подогреватель компонентов горения (ПКГ), т. е. воздуха и горючего газа, того или иного типа. Ранее было показано, что из-за более высокой суммарной теплоемкости греющих газов $c_p \cdot G_{уг}$ по сравнению с суммарной теплоемкостью компонентов горения, а также из-за ряда других причин в агрегатах появляется избыточная теплота, вследствие чего даже при высоком подогреве компонентов горения температура греющих газов на выходе из подогревателя остается высокой (на выходе из мартеновских печей $500-700^\circ \text{C}$). Для использования уносимой

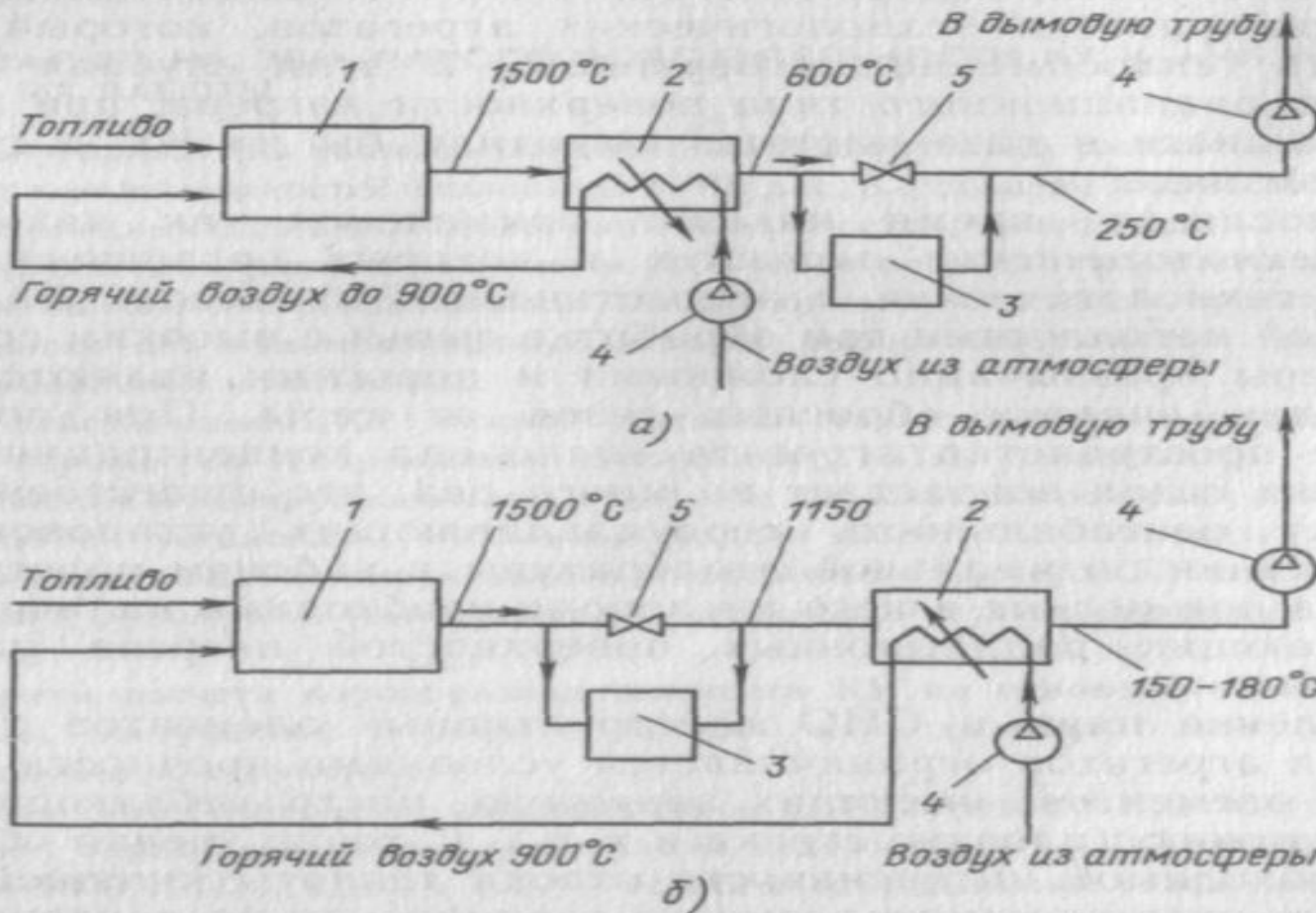


Рис. 8.2. Схемы установки КУ в газовом тракте ТА:

а - КУ установлен после воздухонагревателей;

б - КУ установлен до воздухонагревателей;

1 - ТА; *2* - воздухонагреватель; *3* - КУ; *4* - дымососы и вентиляторы; *5* - запорные клапаны

На рис. 8.2 приведены примерные значения температур газов **без учета различных значений удельных теплоемкостей греющих газов и компонентов горения, а также экзотермических реакций.** По схеме рис. 8.2, б, можно без снижения температуры подогрева компонентов горения повысить эффективность КУ, получая пар оптимальных параметров. Такая схема позволяет использовать полнее теплоту уходящих газов, так как нагреваемый воздух горения имеет гораздо более низкую температуру (от -25 до $+25^{\circ}\text{C}$), чем котловая вода в КУ ($190-240^{\circ}\text{C}$), а в экономайзере КУ может быть использована только небольшая часть теплоты греющих газов из-за большого

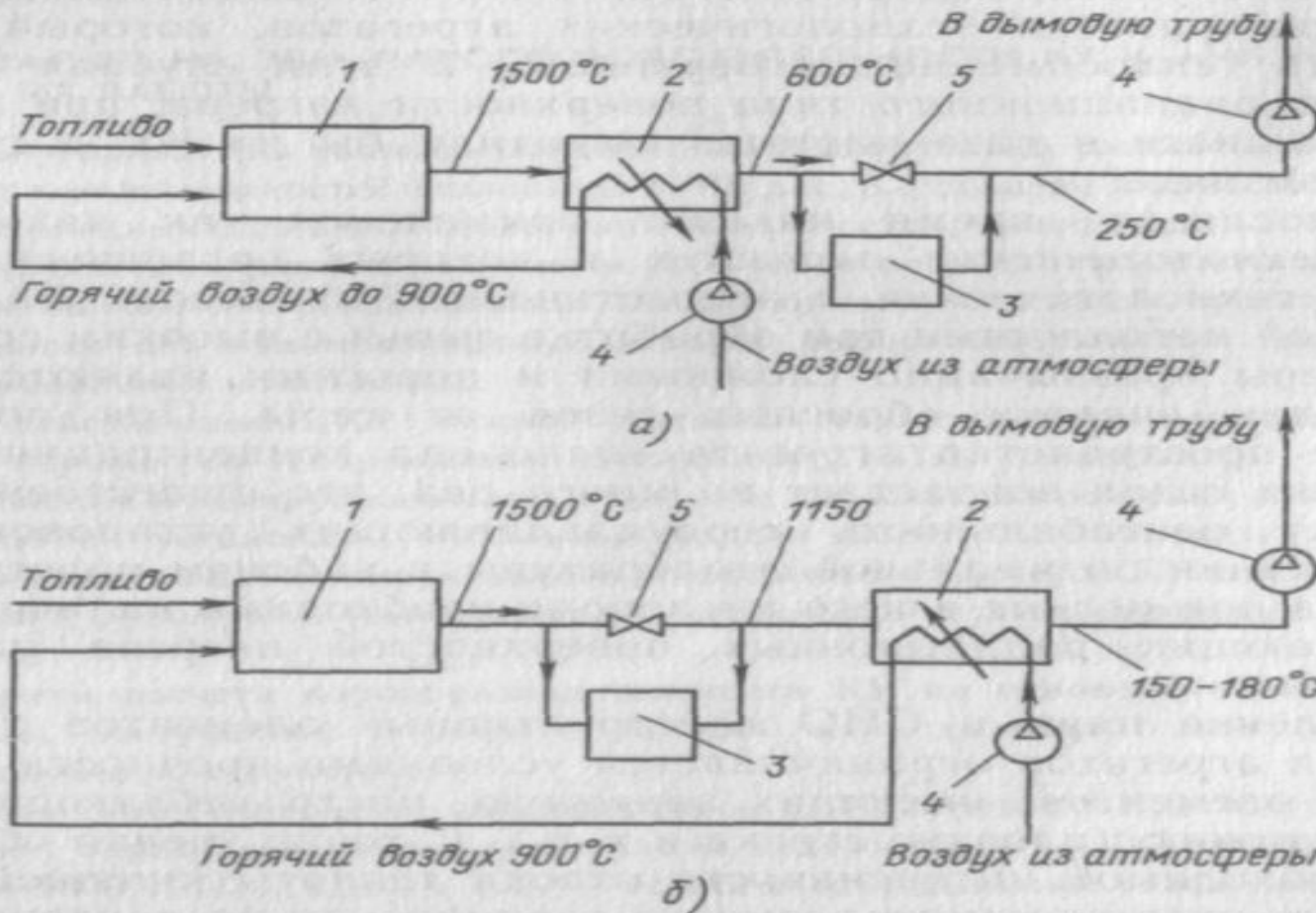


Рис. 8.2. Схемы установки КУ в газовом тракте ТА:

а - КУ установлен после воздухонагревателей;
б - КУ установлен до воздухонагревателей;
 1- ТА; 2 - воздухонагреватель; 3 - КУ; 4 - дымососы и вентиляторы; 5 - запорные клапаны

Описанная схема (рис. 8.2, б) находит все более широкое применение, в частности, в цветной металлургии, где ее **дополнительным преимуществом является возможность гранулирования размягченного уноса**, содержащегося в газах, выходящих из рабочего пространства ТА, **который может забивать теплообменные поверхности.**

В этих случаях в КУ выполняют поверхности нагрева радиационного типа, при которой содержащиеся в газе частицы выходили бы из КУ в гранулированном виде.

Сейчас находят применение так называемые **энерготехнологические агрегаты**, в которых сочетаются технологические и энергетические процессы. Например, в цветной металлургии при обработке сырья с высоким содержанием серы **сложными и дорогими** являются установки для очистки сбросных газов от серы. При подаче в рабочее пространство агрегата O_2 концентрация SO_2 в уходящих газах возрастает **многократно**, что существенно увеличивает рентабельность сероулавливающих установок. Для поддержания оптимальной температуры в рабочем пространстве агрегата при подаче в него O_2 необходимо наличие в нем

Давление пара в СИО ТА ограничивается условиями прочности охлаждаемых элементов, имеющих заданную, часто неблагоприятную конфигурацию (плоские стенки и т. п.).

С точки зрения обеспечения необходимой интенсивности отвода теплоты кипящей водой от стенки охлаждаемого элемента ограничения на давление пара не накладываются.

При правильной организации циркуляции воды в охлаждаемом элементе в нем можно получать пар давлением до **3,5-4,5 МПа**. Есть определенные трудности для получения пара таких параметров:

1). **Для СНО** требования к качеству питательной воды выше, чем для КУ, так как в КУ температура греющих газов не превышает $700-850^{\circ}\text{C}$, а скорость движения котловой воды в трубах малого диаметра (до 38 мм) значительна (принудительная циркуляция), что препятствует образованию вторичной накипи.

2). **У ряда** охлаждаемых элементов, особенно к концу кампании ТА, наблюдается то или иное разрушение их теплоизоляции, из-за чего теплонапряжение их частей, подверженных радиационному теплоизлучению из рабочего пространства агрегата, достигает $(1,2-2,0) \cdot 10^6$ кДж/(м²·ч).

3). **В СИО** труднее обеспечить устойчивую интенсивную циркуляцию воды в зоне наиболее теплонапряженных участков.

Из-за отмеченных трудностей надо по возможности заменять коробчатые конструкции охлаждаемых элементов трубчатыми и др. Но пока от некоторых агрегатов (доменных, мартеновских печей и др.) получают пар из СИО с давлением не более **0,1-0,5 МПа.**