

УДК 621.311.22:621.182.2

Естественная циркуляция в котлах-утилизаторах парогазовых установок

Михалченок В.Ю., Чешун Ю.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

В паровых котлах на докритические параметры генерируемого пара возможны различные схемы движения среды в испарительных поверхностях теплообмена, представленные на рисунке 1 [1]:

- с естественной циркуляцией (рисунок 1,а), при которой движение среды происходит за счет разницы плотностей однофазного водяного (в опускных трубах) и двухфазного пароводяного (в подъемных трубах) потоков, создаваемого подводом тепла топлива;
- с принудительной циркуляцией (рисунок 1,б), при которой сопротивление движению среды в испарительном контуре преодолевается за счет напора циркуляционного насоса;
- с прямоточным испарителем (рисунок 1,в), в котором вода испаряется за один ход, а гидравлическое сопротивление преодолевается питательным насосом.

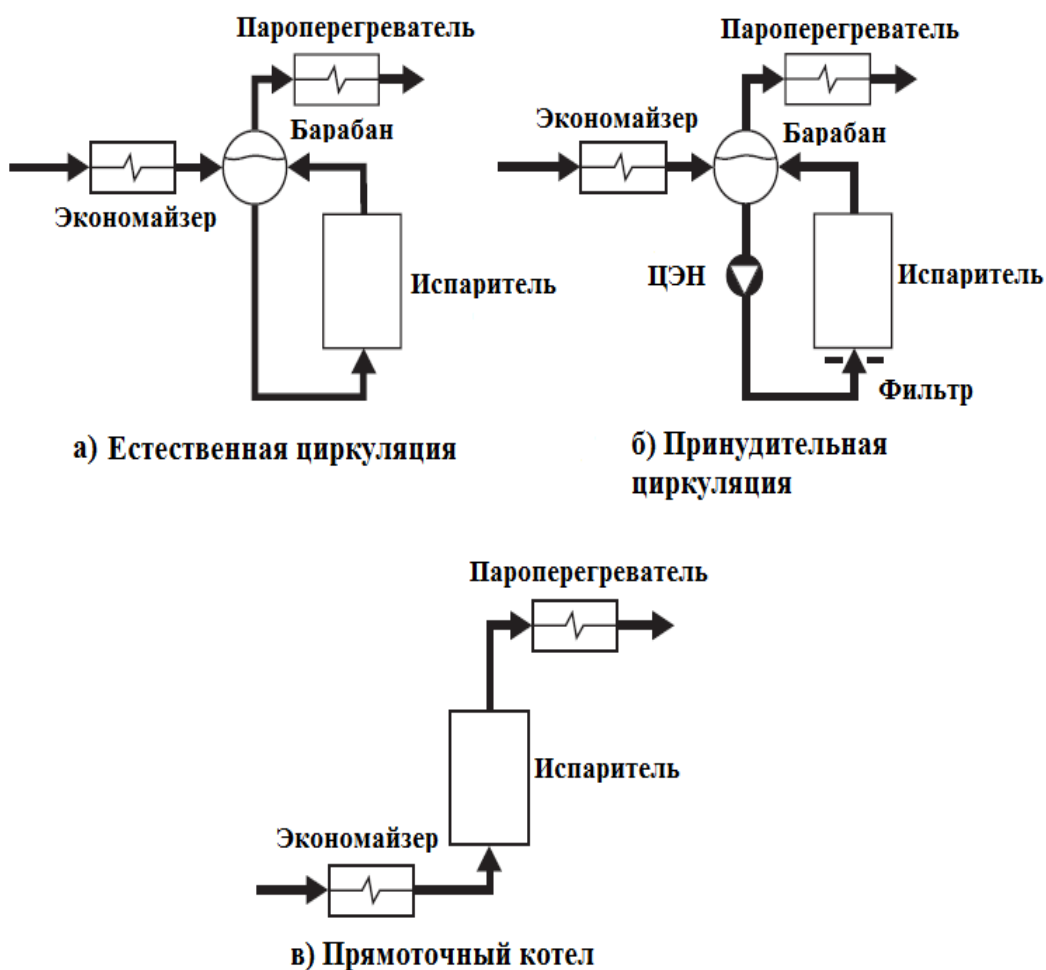


Рисунок 1 – Схема движения среды в испарительной поверхности парового котла

Широкое распространение получили барабанные паровые котлы с естественной циркуляцией. Основное преимущество барабанных котлов по сравнению с прямоточными – возможность использования питательной воды более низкого качества, а также снижение гидравлического сопротивления пароводяного тракта.

Среди котлов-утилизаторов парогазовых установок различают котлы с горизонтальным и вертикальным движением газов [2].

В горизонтальных котлах-утилизаторах с вертикальным расположением испарительных

труб применяется естественная циркуляция (рисунок 2,а). Движение среды в контуре циркуляции с традиционными испарителями с вертикальным расположением труб происходит, в основном, за счет полезного напора в поверхности испарения, поскольку вертикальный испаритель $H_{исп}$ занимает большую часть высоты контура $H_{оп}$ (рисунок 3,а) [1].

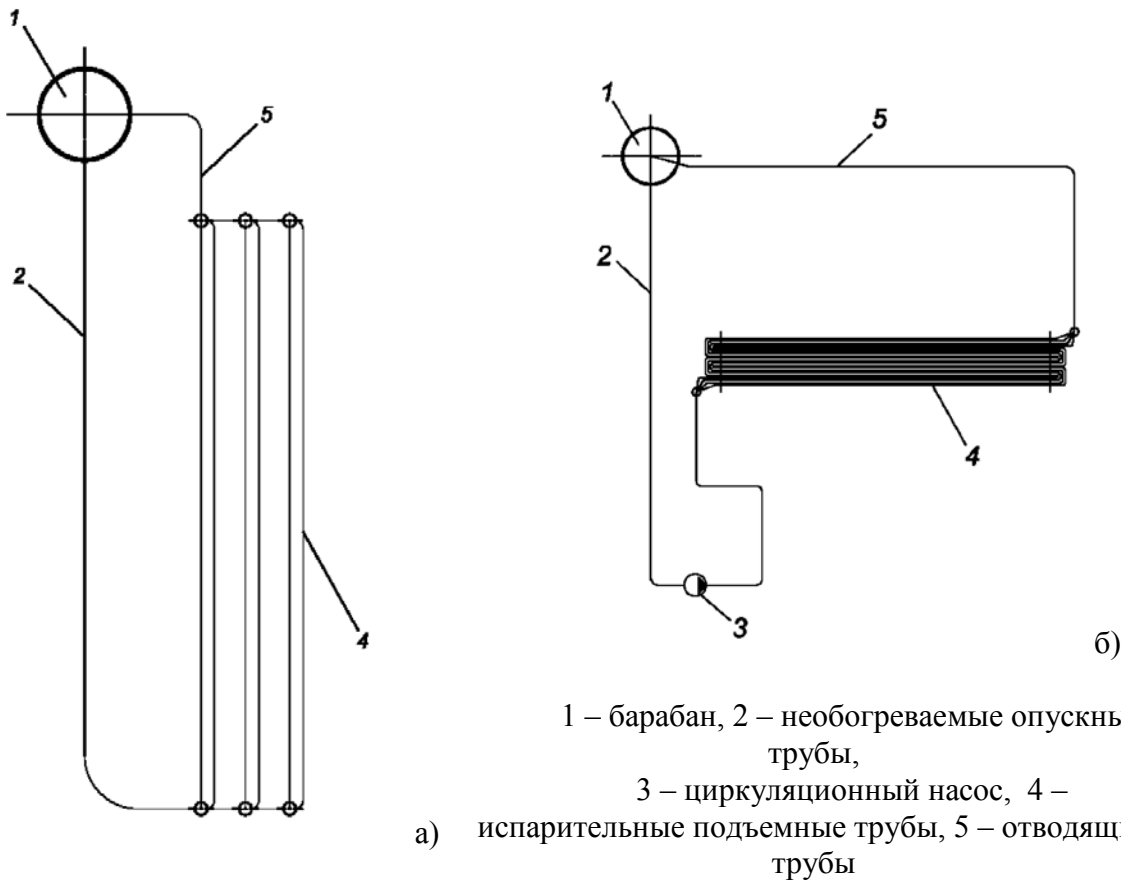


Рисунок 2 – Испарительный контур горизонтального котла-утилизатора с естественной циркуляцией (а) и вертикального котла-утилизатора с многократной принудительной циркуляцией (б)

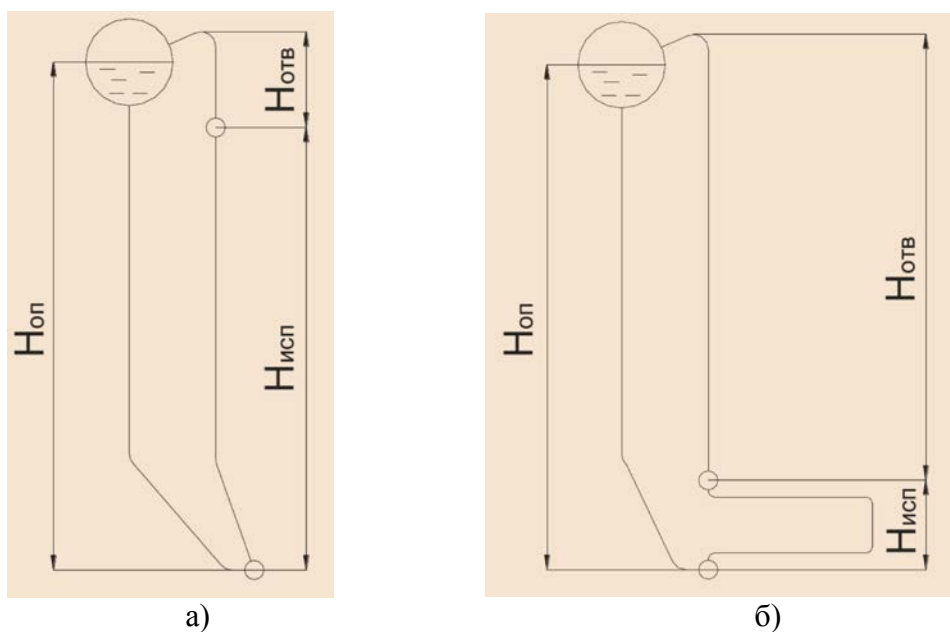


Рисунок 3 – Схема контура циркуляции с вертикальным расположением труб испарителя (а) и с горизонтальным расположением труб испарителя (б)

Наряду с горизонтальными котлами-утилизаторами в составе парогазовых установок большое распространение получили вертикальные котлы-утилизаторы, которые требуют меньших размеров котельной ячейки, более просты при монтаже. Однако в таких котлах затруднительна естественная циркуляция.

Движение среды в циркуляционном контуре вертикального котла-утилизатора с горизонтальным испарителем (рисунок 2,б) не может быть организовано только за счет полезного напора в теплообменной поверхности, поскольку высота горизонтального испарителя $H_{\text{исп}}$ мала относительно высоты контура $H_{\text{оп}}$. По этой причине величины движущего напора в испарителе может не хватить для преодоления сопротивления всех элементов контура циркуляции (рисунок 3,б) [1].

В котлах, в которых осуществить устойчивую естественную циркуляцию не возможно, в том числе с горизонтальным расположением труб испарителя, применяют циркуляционные насосы (рисунок 2,б). Это приводит к увеличению капитальных затрат и снижению экономичности вследствие повышения расхода электроэнергии на собственные нужды.

Кратность естественной циркуляции обеспечивает режимы со сравнительно небольшим паросодержанием пароводяной смеси в испарительных поверхностях и интенсивным отводом теплоты от металла труб. Это позволяет располагать испаритель в топке парового котла и использовать сравнительно недорогие конструкционные стали.

Кратность циркуляции в контуре с принудительной циркуляцией существенно ниже и не превышает 2–4. Высокие значения массового паросодержания при этом приводят к снижению интенсивности теплообмена в испарителе. Указанное обусловило широкое применение режимов естественной циркуляции в большинстве традиционных паровых котлов на докритическое давление, сжигающих органическое топливо.

Исследования, проведенные в [1] показали принципиальную возможность организации естественной циркуляции в контуре с горизонтальным расположением труб испарителя. Это позволит отказаться от циркуляционного насоса и повысить надежность и эффективность работы котлов-утилизаторов вертикального типа.

В работе [1] рассматривалось влияние увеличения нивелирного напора или уменьшения гидравлического сопротивления опускных, отводящих труб и испарительной поверхности теплообмена на работу контура.

Также в работе [1] был исследован испаритель, выполненный из наклонных труб (рисунок 4). Численный эксперимент показал, что с увеличением угла наклона труб с 0 до 7° кратность циркуляции возрастает примерно в 1,5 раза, однако при этом высота установки барабана увеличивается также примерно в 1,5 раза. Это означает увеличение капитальных затрат и усложнение конструкции котла-утилизатора, при том, что кратность циркуляции остается меньше кратности циркуляции при использовании циркуляционного насоса и недостаточной для организации естественной циркуляции.

Анализ различных вариантов конструкции испарительного контура для вертикальных котлов-утилизаторов выявил технические решения, которые могут обеспечить устойчивую естественную циркуляцию в котлах-утилизаторах в широком диапазоне паропроизводительностей и давлений генерируемого пара [1]:

- увеличение числа труб в змеевике при использовании однопетлевой поверхности нагрева испарителя;
- увеличение числа опускных и отводящих труб;
- увеличение шага оробрения первых по ходу газов труб испарителя;
- увеличение ширины газохода;
- применение более плотного пучка труб испарителя.

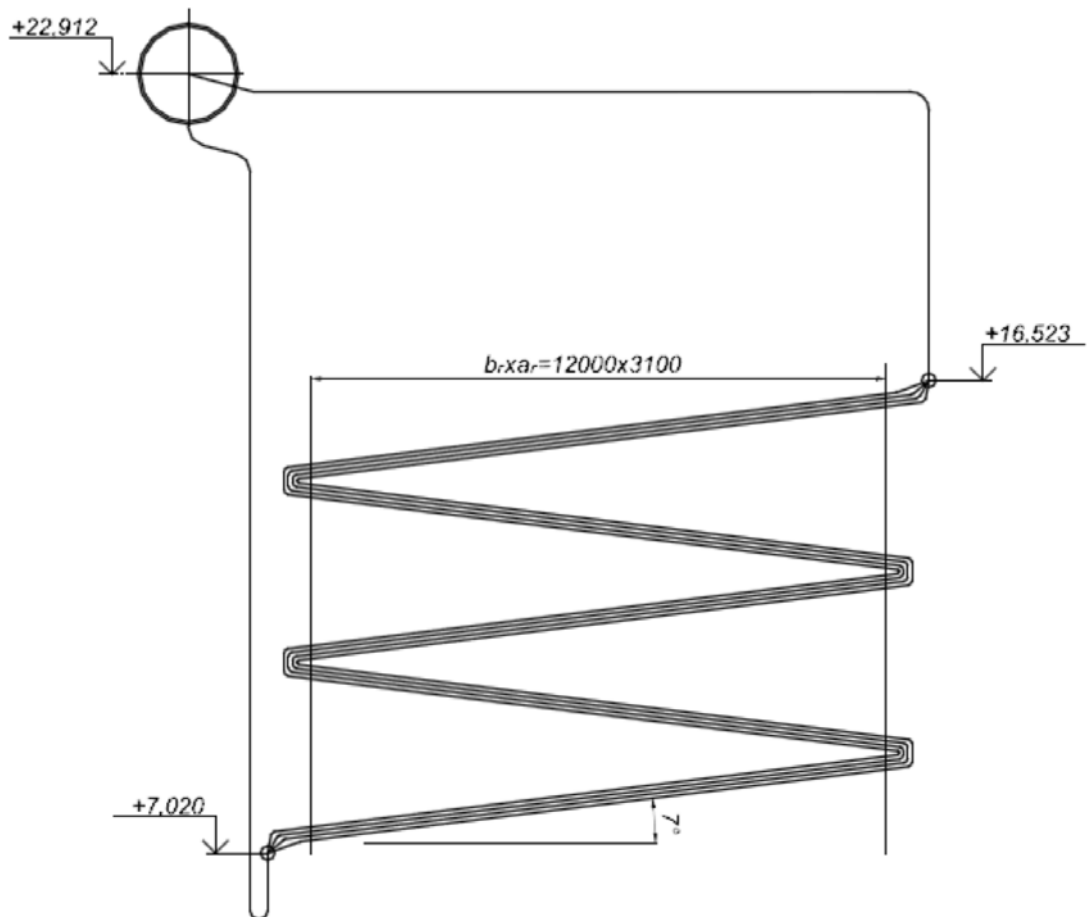


Рисунок 4 – Схема контура циркуляции с наклонными трубами

По сравнению с прямоточными котлами-утилизаторами металлоемкость вертикальных котлов-утилизаторов с естественной циркуляцией, как правило, выше за счет большего количества опускающих и отводящих труб. Преимуществами являются исключение из схемы циркуляционного насоса и фильтров, и, соответственно, сокращение капитальных вложений на их приобретение и обслуживание, а также снижение расходов электроэнергии на собственные нужды станции, повышение надежности работы котла-утилизатора за счет роста кратности циркуляции в испарительном контуре и отсутствия дополнительных технически сложных устройств.

Литература

1. Исследование естественной циркуляции в вертикальном котле-утилизаторе: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.14.14 / Стерхов Кирилл Владимирович; [Место защиты: Нац. исслед. ун-т МЭИ]. – Москва, 2017.
2. ГОСТ Р 55603-2013 Котлы паровые утилизаторы парогазовых установок. Типы и основные параметры // Национальный стандарт Российской Федерации. – 2013.