

УДК 621.438 + 621.311.22.002.5

С.А. КАЧАН, к.т.н., доцент (БНТУ)
А.С. ТАРАНЧУК, студентка (БНТУ)
г. Минск

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАРОТУРБИННОЙ ЧАСТИ СОВРЕМЕННЫХ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Парогазовые технологии получили широкое распространение в мировой энергетике. Совершенствование газотурбинных установок (ГТУ) – основа эффективного применения парогазовых установок (ПГУ) в энергетике. На рисунке 1 показаны основные вехи совершенствования парогазовых технологий Siemens последних десятилетий [1].

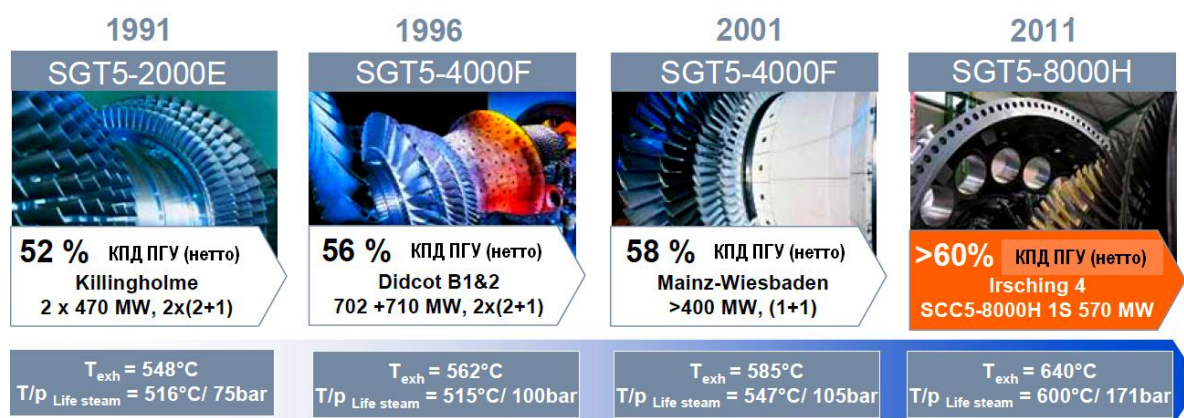


Рисунок 1. Совершенствование парогазовых технологий Siemens

Повышение КПД парогазового цикла достигается в первую очередь за счет улучшения параметров и показателей работы ГТУ. Повышение температуры отработавших в ГТУ газов позволяет поднять уровень температур и давлений пара, производимого в котле-утилизаторе для паровой турбины. На современном этапе исследования направлены на освоение начальной температуры пара 600°C и давления вплоть до сверхкритического.

Для повышения параметров пара выше освоенных 565°C и 105 бар, характерных для ПГУ SCC5-4000F на базе SGT5-4000F, при проектировании котла-утилизатора необходимо решить следующие задачи [1]:

- параметры пара выше 565°C требуют правильного выбора материалов для поверхностей нагрева пароперегревателя;
- при повышении давления выше определенного уровня естественная циркуляция в испарительном контуре становится не возможной;

- увеличение давления пара повышает требования к качеству питательной воды и пара.

Последнее требует тщательную очистку основного конденсата цикла, а также продувку испарительных контуров котла-утилизатора.

Для возможности работы с температурой пара на уровне 600°C и его давлении выше 170 бар материалы должны обеспечивать [1]:

- сопротивление ползучести;
- стойкость к окислению с паровой стороны труб;
- усталостные характеристики достаточные, чтобы противостоять частым циклическим нагрузкам;
- приемлемую стоимость.

На рисунке 2 приведены температуры стенки наиболее горячих труб пароперегревателя. Зеленым цветом отмечены условия работы труб без окисления, красным – с окислением стенок с паровой стороны [1].

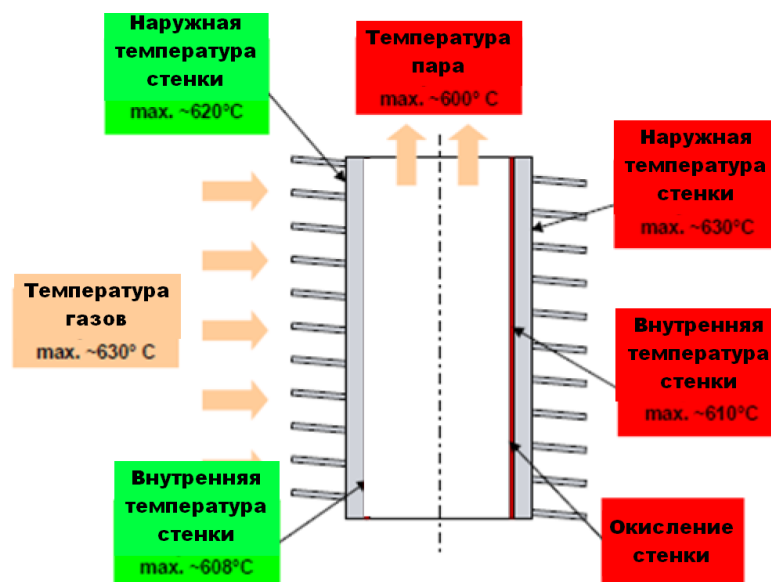


Рисунок 2. Температура стенки труб пароперегревателя

Окисленный слой на внутренней стороне стенки из-за его низкой теплопроводности препятствует передаче тепла и приводит к увеличению температуры трубы. Повышенная температура стенки снижает прочностные свойства металла, что необходимо учитывать при выборе материала труб. Кроме того коррозия металла приводит к утонению стенки и снижению прочности труб.

На рисунке 3 показана скорость коррозии при длительной эксплуатации в зависимости от температуры пара, а на рисунке 4 – в зависимости от содержания хрома (при температуре внутренней стенки 600°C) [1].

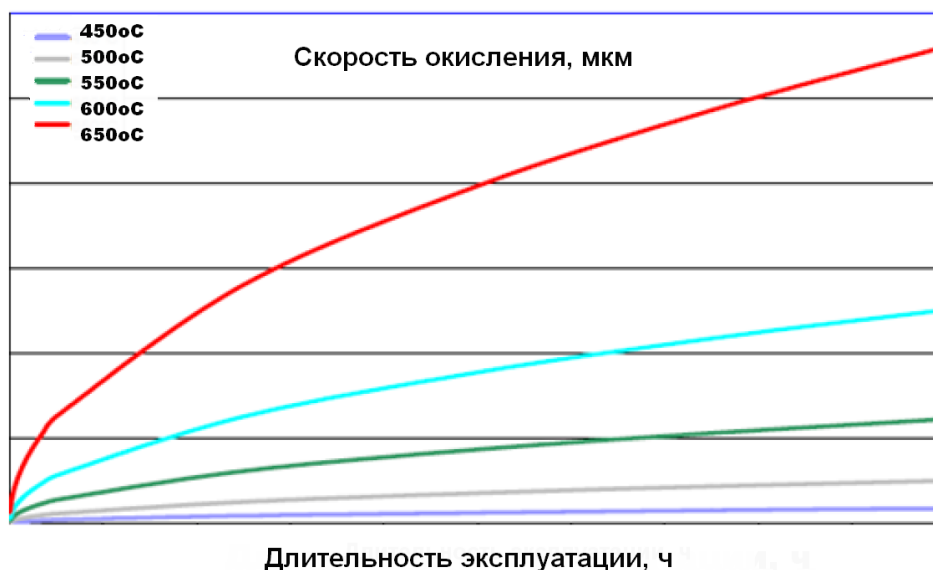


Рисунок 3. Скорость коррозии при длительной эксплуатации в зависимости от температуры пара

Как видно из рисунка 3 при повышении температуры пара до 600°С и выше происходит более быстрое увеличение скорости окисления. При температуре пара 600°С (рисунок 4) оптимальным для сопротивления коррозии является содержание в стали хрома около 12%. Исследования показывают, что для перспективных ПГУ на более высокие параметры пара наилучшим является сплав с содержанием хрома 18-20% [1].

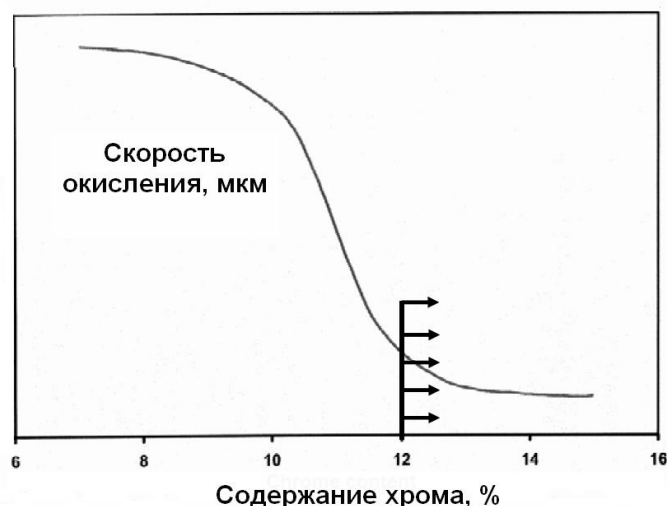


Рисунок 4. Скорость коррозии при длительной эксплуатации в зависимости от содержания хрома (при температуре материала труб 600°С)

При проектировании котлов-утилизаторов на повышенное начальное давление необходимо учитывать увеличение необходимой толщины стенки барабана. Например, при давлении 130 бар необходимая толщина стенки около 100 мм, а при 180 бар - около 140 мм [1].

Также при существенном повышении давления становится невозможной естественная циркуляция, поскольку снижается разность плотностей насыщенного пара и воды (рисунок 5) [1].

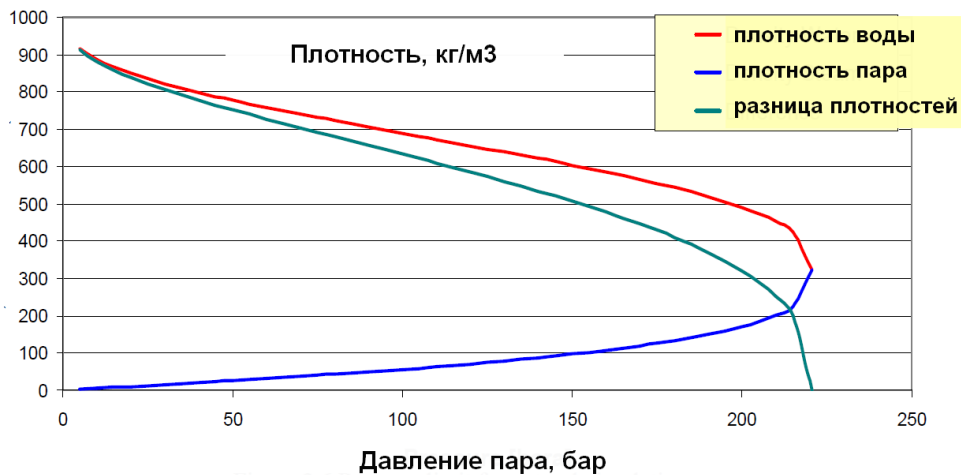


Рисунок 5. Зависимость плотности воды и пара на кривой насыщения

Выходом может быть использование многоконтурного котла-утилизатора технологии BENSON® (лицензия Siemens) с горизонтальным исполнением газового тракта, прямоточным испарителем высокого давления (ВД) и естественной циркуляцией в контурах среднего (СД) и низкого (НД) давления (рисунок 6,б) [2].

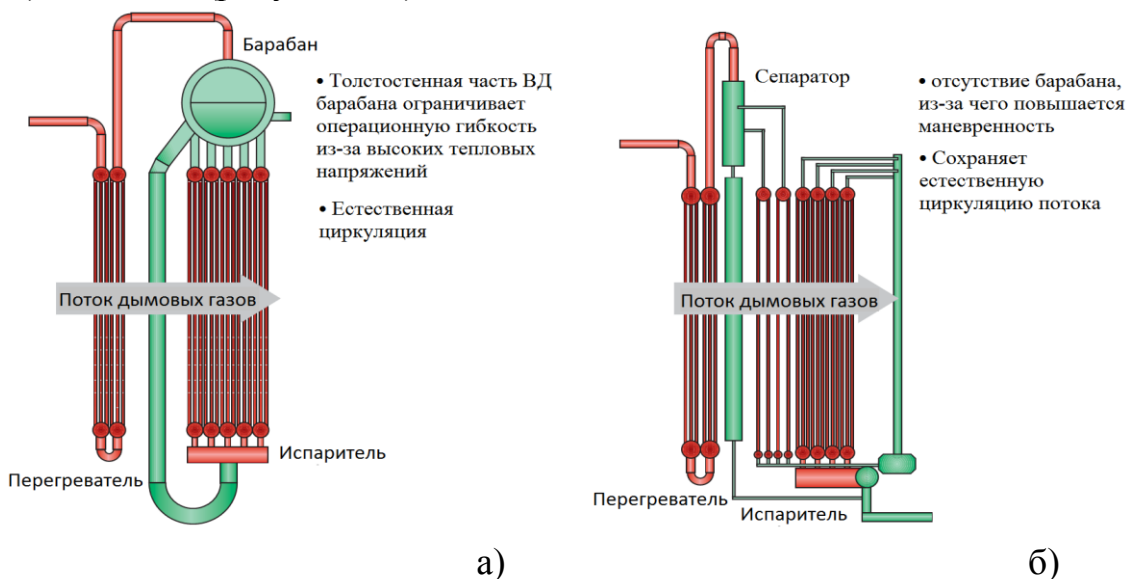


Рисунок 6. Принципиальная схема традиционного барабанного котла утилизатора (а) и котла утилизатора, использующего технологию BENSON®

Преимущества котла утилизатора BENSON® [2]:

- вертикальное расположение труб поверхностей нагрева (как в традиционных котлах барабанного типа) позволяет сохранить естественную циркуляцию в испарительных контурах СД и НД и стабильность и равномерность распределения теплового потока;

- замена барабана ВД на тонкостенный узел (сепаратор) повышает эксплуатационную маневренность парогенератора, при этом не требуя изменений в конструкции экономайзера и пароперегревателя ВД.

Применение котла-утилизатора BENSON®, а также освоенная Siemens технология параллельного пуска газовой и паровой турбин Hot Start on the fly [3] являются ключевыми решениями проекта Siemens, получившего название FACU (FAst CYcling), и позволяющего увеличивать число пусков ПГУ и сокращать их продолжительность, повышая маневренные характеристики установки.

Описанные выше технические решения проверены на экспериментальной электростанции Irsching N 4, Германия (рисунок 1) [1].

Применение ГТУ нового поколения SGT5-8000H, повышенные параметры пара (температура 600°C и давление 170 бар), использование правильно подобранных материалов и конструкции котла-утилизатора BENSON® позволили реализовать ПГУ SCC5-8000H IS с тепловой эффективностью выше 60%, высокими экологическими характеристиками и показателями надежности и маневренности.

Список литературы:

1. Bullinger P. Enhanced Water/Steam Cycle for Advanced Combined Cycle Technology // Power Gen Asia. – Bangkok, October 3-5, 2012.
2. BENSON® Once-Through technology for Heat Recovery Steam Generators // Siemens Power Generation, Inc. – 2006. www.siemens.com/powergeneration
3. Fast cycling and rapid start-up: new generation of plants achieves impressive results / Lothar Balling, Siemens, Erlangen, Germany // Modern Power Systems – January – 2010.