

А.А АРТИМЕНЯ, магистрант (БНТУ)
Научный руководитель С.А. КАЧАН, к.т.н., доцент (БНТУ)
г. Минск

ТЕХНОЛОГИЯ *BENSON*® - ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОТЛОВ УТИЛИЗАТОРОВ

С 1924 года (после приобретения патентных прав Марка Бенсона) и по настоящее время технология прямоточных парогенераторов *Siemens* опробована на более тысячи электростанций с турбоустановками мощностью до 1000 МВт на параметры пара до 300 бар и 610°C.

В 1999 году отработанные компанией решения успешно применены в проекте котла-утилизатора (КУ) на станции *Cottam* в Великобритании. Парогазовая установка (ПГУ) *Cottam* мощностью 390 МВт выполнена одновальной на базе газотурбинной установки (ГТУ) *SGT5-4000F Siemens* с параметрами пара верхнего контура 125 бар и 565°C [1].

На рисунке 1 схематично показан трехконтурный котел-утилизатор *BENSON*® с горизонтальным исполнением газового тракта, прямоточным испарителем высокого давления (ВД) и естественной циркуляцией в контурах среднего (СД) и низкого (НД) давления.

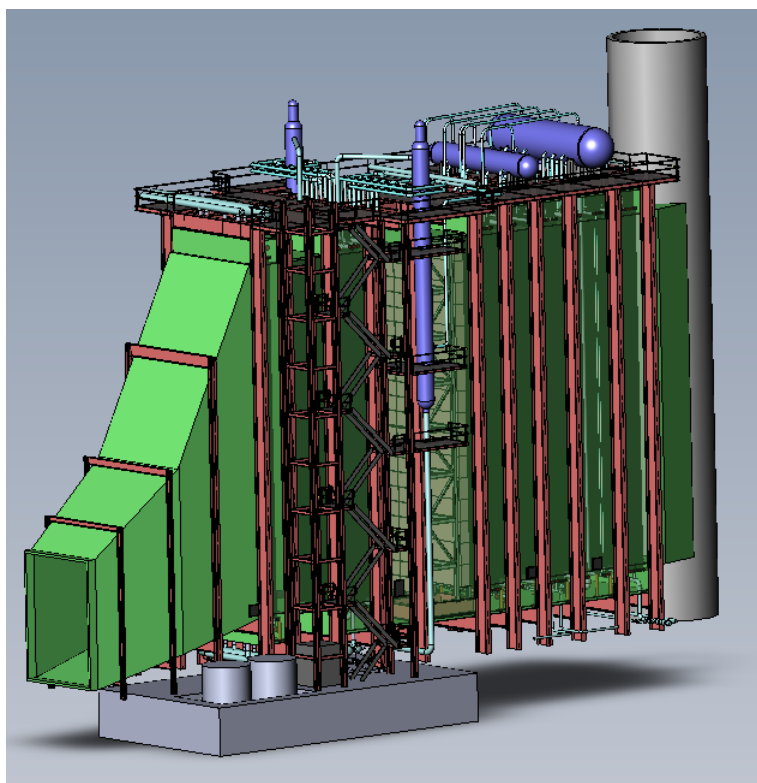


Рисунок 1. Компоновка трехконтурного котла-утилизатора *BENSON*®

Преимущества котла утилизатора *BENSON®* (рисунок 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.

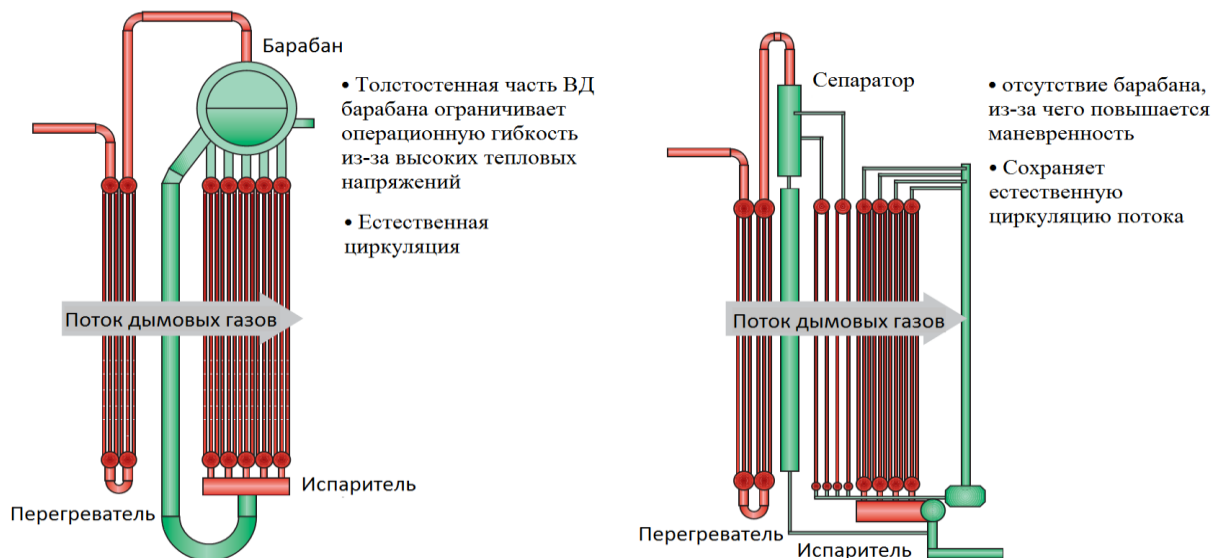


Рисунок 2. Принципиальная технологическая схема традиционного барабанного котла утилизатора (а) и котла утилизатора, использующего технологию *BENSON®*

Опыт эксплуатации *Cottam* показал, что технология *BENSON®* является наиболее перспективной для проектирования КУ ПГУ, поскольку сохраняет все преимущества парогенераторов барабанного типа с естественной циркуляцией и при этом существенно улучшает маневренные характеристики ПГУ [1]:

- значительное сокращение времени пуска ПГУ (рисунок 3);
- снижение перерасходов топлива за счет минимизации времени работы ГТУ на частичных нагрузках;
- возможность более частых пусков ГТУ.

Кроме того из-за снятия ограничений по обеспечению естественной циркуляции возможно повышение начальных параметров пара (давления и температуры) в контуре ВД с соответствующим повышением КПД ПГУ.

Основываясь на успешном опыте *Cottam*, в последнее десятилетие *Siemens* ввел в коммерческую эксплуатацию в Центральной Европе полтора десятка других проектов ПГУ, использующих технологию *BENSON®* [2]. Конструктивные особенности и условия работы испарителя

ВД этих котлов-утилизаторов тщательно исследованы и проработаны, в том числе с учетом повреждений, имевших место на станциях *Hamt-Uentrop* и *Herdecke*, Германия [3]. Основные узлы модифицированного испарителя ВД котла-утилизатора BENSON®, показаны на рисунке 4 [4].

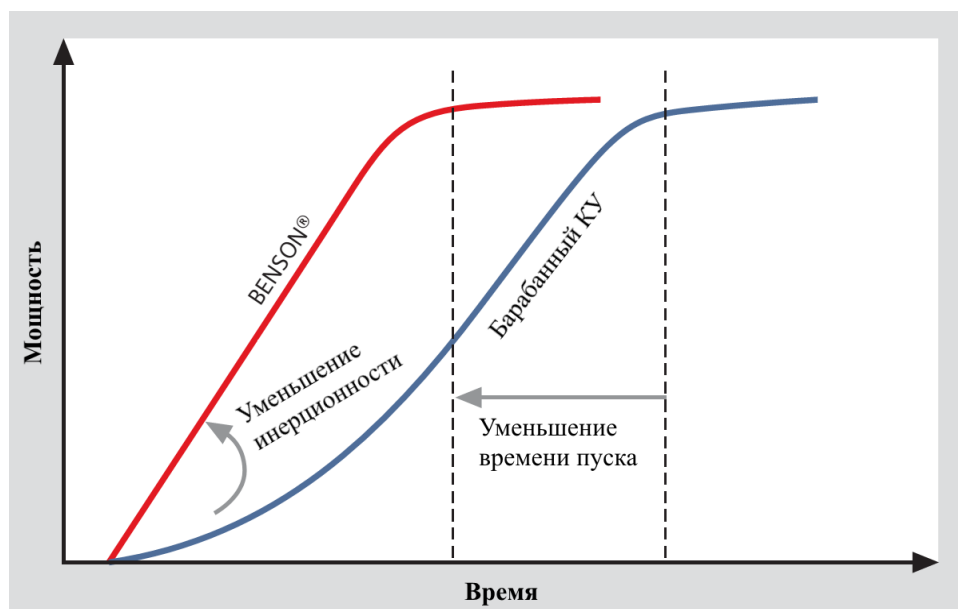


Рисунок 3. Сравнение кривых пуска котлов-утилизаторов

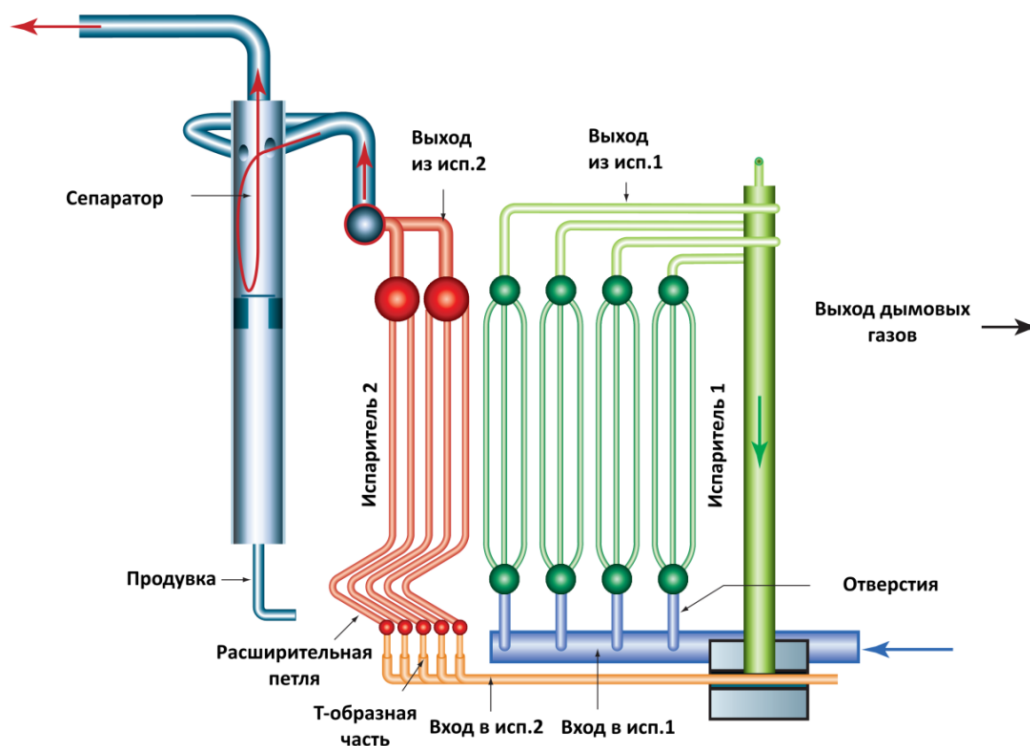


Рисунок 4. Схема испарителя высокого давления BENSON®

Питательная вода поступает в испаритель через входные коллектора 1 (вход в исп. 1) и распределяется по трубной поверхности нагрева испарителя 1. Распределение среды в отдельные пакеты или ряды труб определяется параметрами труб, степенью нагрева и дросселирования во входных отверстиях испарителя 1. Смесь воды и пара из испарителя 1 (выход из исп. 1) по опускному коллектору подводится к входному коллектору испарителя 2 (вход в исп. 2), имеющему Т-образную разводку и расширительные петли, для увеличения количества входных отверстий впускной магистрали испарителя 2. В зависимости от режима и особенностей эксплуатации котла-утилизатора из испарителя 2 (выход из исп. 2) выходит перегретый или влажный пар и через сборный коллектор поступает в сепаратор, после которого пар идет на пароперегреватель ВД.

Отметим, что технология *BENSON®* может быть реализована также в котлах-утилизаторах с вертикальным исполнением газового тракта.

Высокая эксплуатационная надежность технологии *BENSON®* подтверждается многочисленными эмпирическими и аналитическими исследованиями теплообмена и гидравлики двухфазного потока на испытательных стендах *Siemens*, а также данными эксплуатации.

В заключение отметим, что в настоящее время в мире есть уже более десяти поставщиков котлов-утилизаторов – лицензиатов *Siemens BENSON®*, и список их продолжает расти. В период с 2012 по 2016 годы введены в эксплуатацию ПГУ с котлами-утилизаторами *BENSON®* во многих странах мира: Японии, Южной Кореи, Турции, Малайзии, Филиппинах. В ближайшие годы планируется их ввод на электростанциях в Саудовской Аравии, Египте, Боливия, Чили [2].

Список литературы

1. *BENSON® Once-Through technology for Heat Recovery Steam Generators* // *Siemens Power Generation, Inc.* – 2006. www.siemens.com/powergeneration

2. *BENSON HRSG Boilers - Reference List (updated 14.06.2016)* http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-generation/power-plants/steam-power-plant-solutions/benson%20boiler/BENSON_HRSG_Reference_List_20160614.pdf

3. *Joachim Franke, Jan Brückner Dealing with tube cracking at Herdecke and Hamm-Uentrop (Siemens)* // *Modern Power Systems, October 2008, p. 33 - 37.* www.modernpowersystems.com

4. *Jan Brückner, Gerhard Schlund Pego experience confirms BENSON as proven HRSG technology (Siemens)* // *Modern Power Systems, June 2011, p. 21 – 24.* www.modernpowersystems.com