

УДК 621.18-182.2

## ТЕХНОЛОГИЯ BENSON® ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОТЛОВ УТИЛИЗАТОРОВ

Артименя А.А

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

Технология прямоточных парогенераторов компании Siemens начала свое развитие с приобретения патентных прав Марка Бенсона в 1924 году и к настоящему времени опробована на более 1000 различных электростанций, использующих турбоустановки мощностью до 1000 МВт на параметры свежего пара до 300 бар и 610° С.

В 1999 году отработанные компанией решения были успешно применены на станции Cottam в Великобритании в проекте котла-утилизатора (КУ) для парогазовой установки (ПГУ). ПГУ Cottam мощностью 390 МВт – одновальная, на базе ГТУ SGT5-4000F Siemens с параметрами пара верхнего контура котла-утилизатора 125 бар и 565°С.

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.

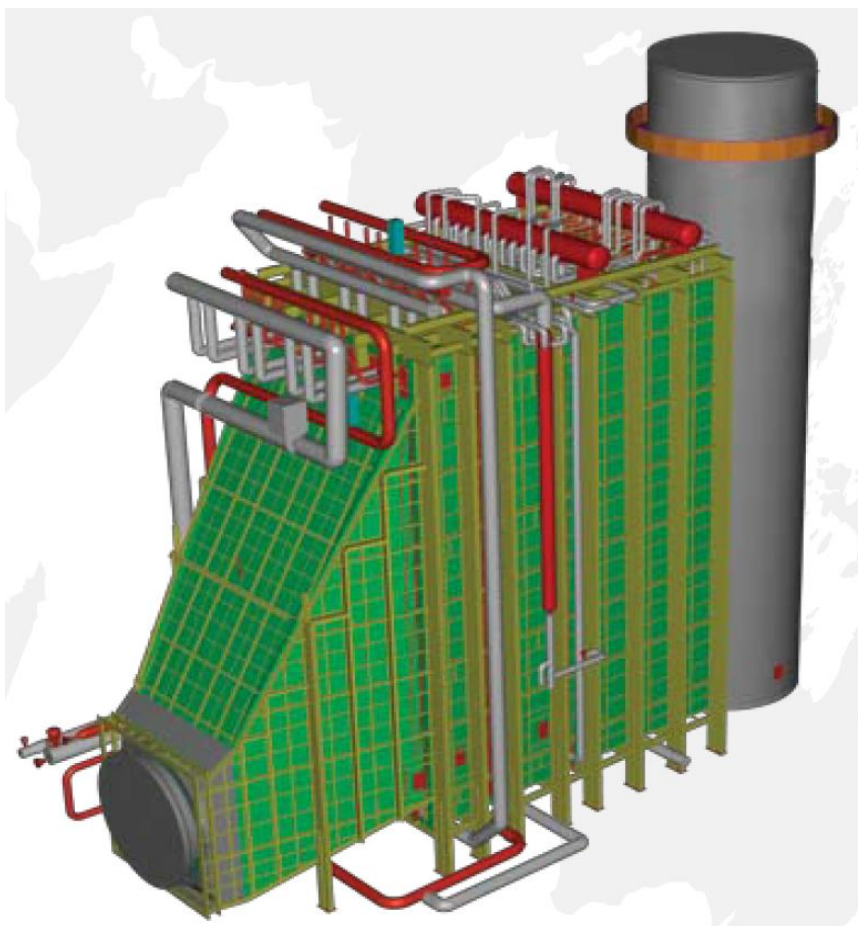


Рисунок 1 – Трехконтурный котел-утилизатор BENSON®

Основные особенности котла утилизатора BENSON® с прямоточным испарителем ВД (рисунок 2):

- вертикальное расположение секций труб поверхностей нагрева (как в традиционных котлах барабанного типа) в горизонтальном газовом тракте, позволяет сохранить

естественную циркуляцию в испарительных контурах СД и НД и, следовательно, стабильность и равномерность распределение теплового потока;

- замена барабана высокого давления на тонкостенные узлы (сепаратор) повышает эксплуатационную маневренность агрегата, при этом не требуются изменения в экономайзере и пароперегревателе ВД.

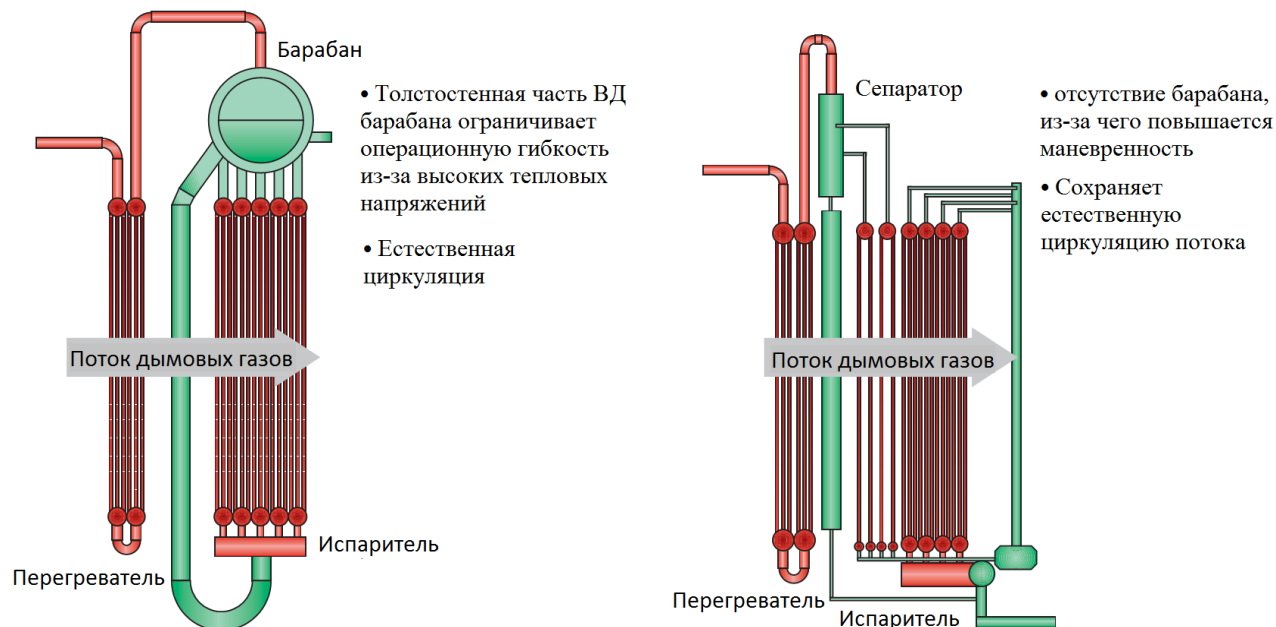


Рисунок 2 – Принципиальная технологическая схема традиционного барабанного котла утилизатора (а) и котла утилизатора, использующего технологию BENSON®

Опыт эксплуатации станции Cottam показал, что разработанная технология BENSON® является наиболее перспективной для проектирования ПГУ, поскольку сохраняет все преимущества котлов барабанного типа с естественной циркуляцией и при этом существенно улучшает маневренные характеристики ПГУ (рисунок 3).

Выполнение котлов-утилизаторов по технологии BENSON® обеспечивает следующие преимущества проектируемых ПГУ:

– значительное сокращение времени пуска ПГУ, возможность более частых пусков ГТУ;

– повышение эффективности пусков за счет минимизации времени работы ГТУ на частичных нагрузках;

– снижение выбросов (газообразных и жидких) за счет более короткого времени пуска и исключения продувки из барабана ВД;

– снижение потребления химических реагентов вследствие применения современных методов очистки питательной воды;

– возможность повышения начальных параметров пара (давления и температуры), поскольку снимаются ограничения по условию обеспечения естественной циркуляции.

Основываясь на успешном опыте эксплуатации станции Cottam, в последнее десятилетие Siemens осуществляет в Центральной Европе полтора десятка других проектов ПГУ с использованием технологии BENSON® (таблица 1).

Так, на станции Rego, Португалия, находятся в эксплуатации две одновалвные ПГУ с котлами-утилизаторами, которые можно считать "эталонном" технологии BENSON®, воплотившим весь наработанный ранее опыт.

Конструктивные особенности и условия работы испарителя ВД этих котлов-утилизаторов тщательно исследованы и качественно проработаны, в том числе с учетом повреждений, имевших место на станциях Hamm-Uentrop и Herdecke, Германия.

Основные узлы испарителя ВД котла-утилизатора BENSON® показаны на рисунке 4.

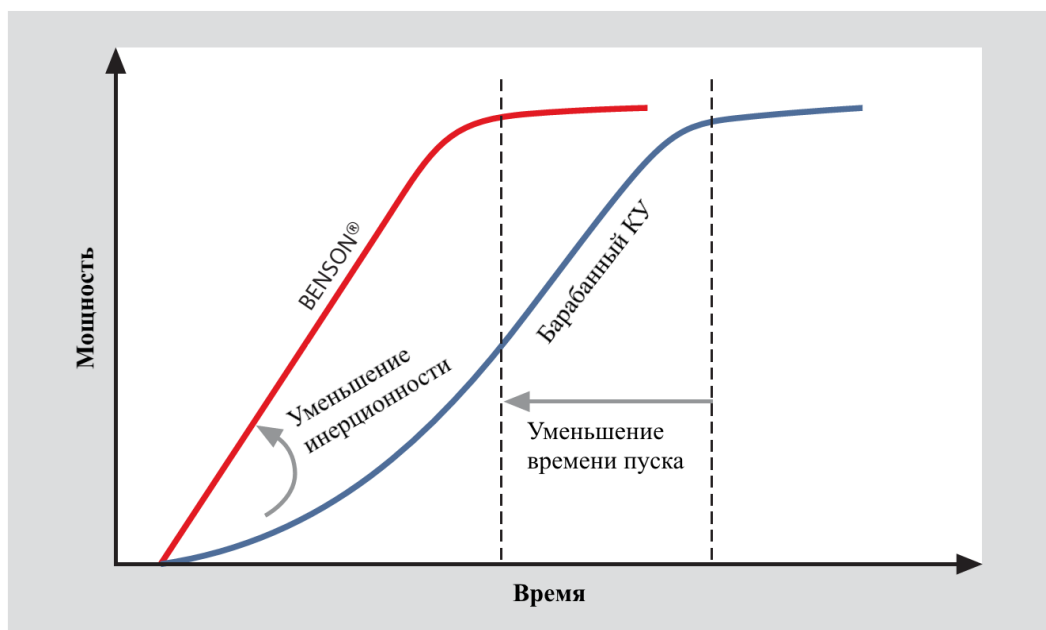


Рисунок 3 – Сравнение кривых пуска котлов-утилизаторов

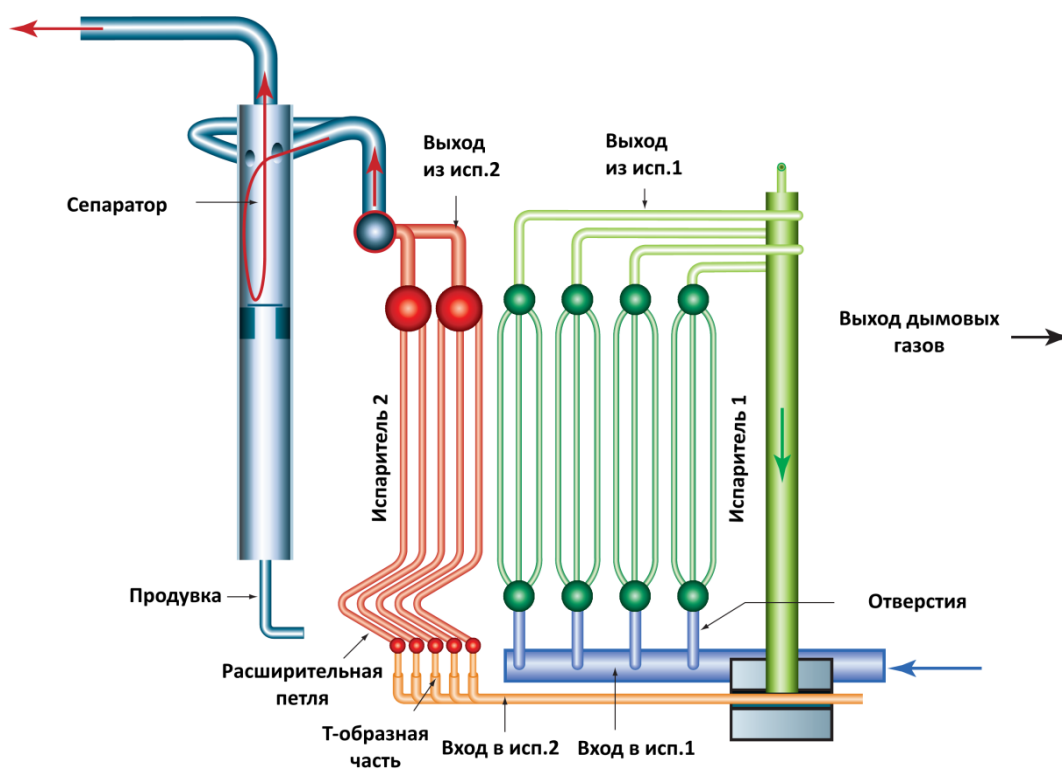


Рисунок 4 – Схема испарителя высокого давления BENSON®

Принцип его действия заключается в следующем.

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, уровнем нагрева и степенью дросселирования во входных отверстиях испарителя 1.

Смесь воды и пара из испарителя 1 (выход из исп. 1) поступает в коллектор с нисходящим потоком и подводится к впускным коллекторам испарителя 2 (вход в исп. 2), имеющий Т-образную разводку и расширительные петли, чтобы увеличить количество входных отверстий к впускной магистрали испарителя 2.

В зависимости от режима нагрузки и особенностей эксплуатации котла-утилизатора после испарителя 2 (выход из исп. 2) выходит перегретый или влажный пар и направляется в общий коллектор, а из него поступает в сепаратор, из которого пар идет на перегреватель ВД.

Таблица 1 – Действующие в Центральной Европе ПГУ с котлами-утилизаторами BENSON®

Год ввода	ТЭС, страна	Поставщик КУ	Тип ГТУ	Конфигурация (число валов) и мощность ПГУ	Число КУ
1999	Cottam, Великобритания	Deutsche Babcock	SGTS-4000F	Одновальная 390 МВт	1
2007	Herdecke, Германия	Ansaldo	SGTS-4000F	Двухвальная (1:1) 400 МВт	1
2007	Hamm-Uentrop, Германия	Ansaldo	SGTS-4000F	Одновальная 800 МВт	2
2010	Langage, Великобритания	Alstom	GT-26	Двухвальная (2:1) 885 МВт	2
2010	Lingen, Германия	Alstom	GT-26	Двухвальная (2:1) 850 МВт	2
2010	Irsching, Германия	STF	SGTS-4000F	Двухвальная (2:1) 820 МВт	2
2009	Sloe Centrale, Нидерланды	CMI	SGTS-4000F	Одновальная 870 МВт	2
2010	Severn Power, Великобритания	CMI	SGTS-4000F	Одновальная 870 МВт	2
2011	Malzenice, Словакия	STF	SGTS-4000F	Одновальная 400 МВт	1
2011	Pego, Португалия	NEM	SGTS-4000F	Одновальная 870 МВт	2
2011	Irsching 4, Германия	Siemens	SGT5-8000H	Одновальная 530 МВт	1
2012	Lodi, Великобритания	Nooter/Eriksen	SGT6-5000F	Двухвальная 284 МВт	1
2014	Panda Temple I, Великобритания	NEM	SGT6-5000F	Двухвальная 700 МВт	2
2014	Sherman, Великобритания	NEM	SGT6-5000F	Двухвальная 700 МВт	2
2015	Panda Temple II, Великобритания	NEM	SGT6-5000F	Двухвальная 700 МВт	2
2016	Lausward, Германия	Siemens	SGT5-8000H	Одновальная 595 МВт	1

Котлы-утилизаторы BENSON® могут быть реализованы не только с горизонтальным исполнением газового тракта, но также и с вертикальным.

Высокая эксплуатационная надежность технологии BENSON® подтверждается многочисленными исследованиями (эмпирическими и аналитическими) в области теплообмена и гидравлики двухфазного потока на испытательных стендах Siemens;

непрерывного обмена результатами исследований и показателями эксплуатации между инженерами-технологами, проектировщиками Siemens и лицензиатами BENSON® и владельцами электростанций.

В настоящее время во всем мире есть уже более десяти поставщиков котлов-утилизаторов, лицензиатов Siemens BENSON®, и список их продолжает расти. По состоянию на конец 2016 года список включает в себя пять основных поставщиков в Европе, три в Северной Америке, два в Японии и один в Корее (рисунок 5).



Рисунок 5 – Лицензиаты котлов-утилизаторов BENSON®

В заключение отметим: о том, что технология BENSON® является лучшим выбором для ПГУ, свидетельствует то, что она находит все более широкое применение на электростанциях. В период с 2012 по 2016 введены в эксплуатацию ПГУ с котлами-утилизаторами BENSON® во многих странах мира: на двух электростанциях в Японии, пяти - в Южной Корее, двух - в Турции, а также в Малайзия, на Филиппинах. В ближайшие годы планируется их ввод на электростанциях в Саудовской Аравии, Египте, Боливия, Чили.

#### Литература

1. BENSON® Once-Through technology for Heat Recovery Steam Generators // Siemens Power Generation, Inc. – 2006. [www.siemens.com/powergeneration](http://www.siemens.com/powergeneration)
2. Jan Brückner, Gerhard Schlund Pego experience confirms BENSON as proven HRSG technology // Modern Power Systems, Siemens, Germany, June 2011, P. 21 – 24. [www.modernpowersystems.com](http://www.modernpowersystems.com)
3. 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](http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-generation/power-plants/steam-power-plant-solutions/benson%20boiler/BENSON_HRSG_Reference_List_20160614.pdf)