

УДК 621.182

**ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЮ
ЦИРКУЛИРУЮЩЕГО КИПЯЩЕГО СЛОЯ
POWER PLANT USING CIRCULATING FLUIDIZED BED
TECHNOLOGY**

Т.Ю. Пожарицкий, С.Д. Крутиков, И.А. Лебедевич

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
kachan@bntu.by

T. Pozharitsky, S. Krutsikau, I. Lebedevich
Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** рассмотрены основные характеристики первого в мире энергоблока с котлом с циркулирующим кипящим (псевдоожигенным) слоем на сверхкритические параметры пара. Описаны этапы строительства энергоблока. Указаны показатели тепловой эффективности и экологичности.*

***Abstract:** the main characteristics of the world's first power unit with a boiler with a circulating fluidized bed for supercritical steam parameters are considered. The stages of construction of the power unit are described. Indicators of thermal efficiency and environmental friendliness are shown.*

***Ключевые слова:** котел, циркулирующий кипящий (псевдоожигенный) слой, сверхкритические параметры пара, эффективность, экологичность.*

***Keywords:** boiler, circulating fluidized bed, supercritical steam parameters, efficiency, environmental friendliness.*

Введение

Прошло почти пол века со дня подачи основного патента на технологию сжигания с циркулирующим кипящим (псевдоожигенным) слоем (ЦКС) для тепловых электростанций (ТЭС) [1]. Быстрое промышленное развитие котлов с ЦКС для ТЭС началось с небольших стационарных установок и дошло до современного уровня энергоблоков электрической мощностью до 600–800 МВт [1]. В данной работе рассмотрим некоторые характеристики самого мощного в Европе энергоблока с ЦКС мощностью 460 МВт, построенного Foster Wheeler Power Group (FW).

Основная часть

Энергоблок начал коммерческую эксплуатацию в 2009 году, открыв новый период в развитии технологии ЦКС. Центральный элемент электростанции Āagisza – крупнейший на тот момент в мире котел с циркулирующим кипящим (псевдоожигенным) слоем, который также является первым в мире котлом с ЦКС прямоточного типа, производящим пар сверхкритических параметров (таблица 1) [2].

Новый энергоблок мощностью 460 МВт (брутто) заменил старые энергоблоки электростанции Āagisza, расположенной на юге Польши.

Существующие 7 блоков (от 110 до 125 МВт каждый) были возведены в 1960-е годы. Двое из них были остановлены после ввода в эксплуатацию нового энергоблока. Котел с ЦКС был построен рядом со старыми котлами, при этом многие существующие системы, такие как обработка угля и очистка воды, были отремонтированы и использованы для нового блока ЦКС.

Таблица 1 – Параметры генерируемого пара при 100% нагрузке котла [2]

Параметры пара	Размерность	Значение
Острый пар:		
- расход	кг/с	361
- давление	МПа	27,5
- температура	°С	560
Пар промперегрева:		
- расход	кг/с	306
- давление	МПа	5,48
- температура «холодного» промперегрева	°С	315
- температура «горячего» промперегрева	°С	580
Температура питательной воды	°С	290

Рассмотрим некоторые уникальные особенности конструкции и работы данного котла (рисунок 1) [2].



Рисунок 1 – Котел с ЦКС Āagisza [2]

Основным топливом для котла является битуминозный уголь, который добывается на 10 местных угольных шахтах с широким диапазоном параметров угля, что учитывает топливная гибкость технологии ЦКС. Конструкция котла дополнительно оптимизирована для сжигания других видов топлива, в том числе угольной суспензии, которую в больших количествах можно приобрести на местных угольных шахтах. ЦКС предназначен для сжигания влажного угольного шлама, доля которого составляет до 30% от общего количества теплоты топлива. Также можно сжигать отходы обогащения угля в виде сухих гранулятов угольного шлама. Кроме того котел предназначен для использования топлива из биомассы в количестве до 10% от массы исходного топлива [2].

Параметры генерируемого пара, выбранные для этого котла, были проверены на других сверхкритических установках, поэтому использовались обычные котельные стали. Отметим, что в нем применена технология BENSON с вертикальными трубами испарителя по лицензии Siemens AG, Германия [2].

Технология ЦКС не имеет горелок или пламени внутри топки. Вместо этого используется технология псевдооживления для смешивания и циркуляции частиц топлива с известняком, которые сгорают при сравнительно низкой температуре. Известняк улавливает оксиды серы по мере их образования, а низкая температура горения сводит к минимуму образование оксидов азота (NO_x).

Частицы топлива и известняка снова и снова возвращаются в топку, что приводит к высокой эффективности сжигания топлива, улавливанию загрязняющих веществ и передаче теплоты пару, подаваемому к паровой турбине.

Топливо поступает в котел с циркулирующим псевдооживленным слоем из угольных бункеров (слева), а очищенные дымовые газы выходят из электрофильтра (справа) к дымовой трубе установки (рисунок 1).

Расчетная эффективность нетто электростанции для Āagisza составляет 43,3% по нижней теплоте сгорания (LHV) или 41,6% по высшей теплоте сгорания (HHV). Полезная выходная мощность – 439 МВт. Это заметное увеличение по сравнению с 35%-ной эффективностью исходных установок электростанции. В сравнении с ними выбросы оксидов азота (NO_x) на новом блоке ЦКС снижены на 71%, а выбросы углекислого газа (CO_2) – на 28% [2].

Электростанция также имеет много других инновационных конструктивных особенностей, которые еще больше повышают надежность, эксплуатационную гибкость, а также общую эффективность производства электроэнергии. К ним относятся компактные сепараторы твердых частиц, пароперегреватели INTREX и низкотемпературная система рекуперации тепла дымовых газов, в которой они охлаждаются до 85°C [2].

Конструкция Āagisza также включает в себя компактные сепараторы для циркуляции твердых частиц внутри топки. Вместо горячих циклонов с тяжелой огнеупорной футеровкой в установке используются компактные сепараторы с паровым охлаждением. Преимущества этой конструкции включают снижение затрат на техническое обслуживание, более короткое время запуска и меньшую

площадь котла, что важно, поскольку новый котел должен был вписаться в существующую площадку.

Конструкция установки была дополнительно усовершенствована за счет INTREX (интегрированного теплообменника), который извлекает тепло из горячего циркулирующего материала, возвращаемого из сепаратора, или из твердых частиц, отбираемых непосредственно из нижней части печи. Непрерывный поток плотных твердых частиц обеспечивает высокие коэффициенты теплопередачи в небольшом физическом пространстве и предотвращает образование отложений на поверхности труб. Для управления тепловой нагрузкой INTREX не требуется никаких механических устройств, что достигается за счет псевдооживления горячих твердых частиц воздухом.

Объем работ, произведенный Foster Wheeler, содержит котельный остров «под ключ», включая проектирование, общестроительные работы и фундамент котла, ограждение котельной со стальными конструкциями, части котла, работающие под давлением, вспомогательное оборудование, главный трубопровод пара к турбине и трубопроводы промежуточного перегрева пара, угольные бункеры, оборудование подачи топлива, электрофильтр и система рекуперации тепла дымовых газов, средства управления котлом, контрольно-измерительные приборы, а также строительство, монтаж и пуско-наладочные работы.

Заключение

Отметим положительный опыт эксплуатации первого в мире котла ЦКС на сверхкритические параметры пара. Стабильная и легко регулируемая работа блока на ТЭС Āgisza позволил компании Foster Wheeler наработать ценную базу знаний, чтобы в ближайшем будущем предложить технологию ЦКС со сверхкритическими параметрами пара для электростанций мощностью до 800 МВт, обеспечивая современную эффективность электростанций.

Литература

1. Leuschke, F. 40 years of circulating fluidized bed (CFB) power plant technology / F. Leuschke, T. Becker, G. Heiermann // Conference: Power Gen India. – May 2017.
2. Giglio, B. World's Largest Circulating Fluidized Bed Boiler Begins Commercial Operation [Электронный ресурс] / POWER. – Dec 10, 2009. – Режим доступа: <https://www.powermag.com/worlds-largest-circulating-fluidized-bed-boiler-begins-commercial-operation/>. – Дата доступа: 05.04.2024.