УДК 621.926.2

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ДРОБИЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ КОТЛОВ И ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ С КИПЯЩИМ СЛОЕМ И СЛОЕВОГО ТИПА

Лейкин В.З., Агеев В.А.

ОАО «Научно производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

На основе результатов стендовых и промышленных испытаний центробежных режущих дробилок (ЦРД) проведено расчетное исследование двухступенчатых дробильных установок с ЦРД. Показано, что при дроблении рядового угля в ЦРД может быть получен требуемый для эффективной работы котлов и газогенераторов с кипящим циркулирующим кипящим слоем состав мелкодробленого топлива (с минимальным содержанием мелких фракций) в случае выполнении первой ступени с оптимальной степенью дробления. Получены зависимости для её определения. Представлены результаты разработки конструкции ЦРД для мощных энергоблоков.

ВВЕДЕНИЕ

Опыт освоения и исследования энергоустановок с кипящим (КС) и циркулирующим (ЦКС) кипящим слоем, показал, что одной из главных проблем является подготовка топлива фракционного состава и качества, необходимого для их надёжной и эффективной работы:

получение мелкодробленого (с максимальным размером частиц $6•10^{-3}$ – $15•10^{-3}$м) угля с гарантированным верхним пределом размера куска, равномерным гранулометрическим составом при минимальном содержании мелких фракций (для большинства установок — частиц с размером менее $1•10^{-3}$м) [1–3]. Для слоевых топок и газогенераторов допускается более крупное дробление ($20•10^{-3}$ – $50•10^{-3}$м), но наличие мелких фракций также снижает их эффективность. Проведенный анализ показал [2,3], что выпускаемые отечественной промышленностью дробилки, как быстроходные (молотковые, роторные, ударно-центробежные) так и тихоходные (валковые, конусные и др.), не могут обеспечить требуемый для установок с КС и ЦКС фракционный состав.

С целью обеспечения подготовки топлива, требуемого для энергоустановок КС и ЦКС, ОАО НПО ЦКТИ создано и отработано в промышленной эксплуатации на энергетических объектах дробильное оборудование новой конструкции — центробежные режущие дробилки (ЦРД) [4–8]. Применяемая в ЦРД технология позволяет в высокопроизводительном устройстве, при мелком дроблении топлива до $10•10^{-3}$ – $15•10^{-3}$м (при необходимости до $6•10^{-3}$м), при работе на сыром (неподсушенном) топливе получить продукт равномерного состава с низким регулируемым содержанием пылевидных ($<1•10^{-3}$м) фракций и гарантированным размером максимальной величины куска.

Исследования показали, что при увеличении размеров кусков исходного топлива, как и в любом дробильном устройстве, растёт доля мелочи в продукте дробления ЦРД за счёт возрастания количества соударений дробимого материала с измельчающими элементами [6,3], и в случае поступления на энергоустановки КС и ЦКС крупного (рядового) угля размером кусков до $100•10^{-3}$ – $300•10^{-3}$м необходимо применение двухступенчатой системы дробления (ДСД). При этом возникает задача определения оптимальной крупности первой ступени дробления по условию наименьшего выхода мелких фракций системы. В промыш-

© Лейкин В.З., Агеев В.А.

ленных условиях отработаны ЦРД производительностью 5,6 – 9,7 кг/с. Для создаваемых в настоящее время мощных энергоблоков ЦКС (в том числе ПГУ с ВЦГ) необходима разработка и внедрение конструкций ЦРД более высокой производительности (для центральной ДСД — до 90 кг/с). В статье представлены результаты экспериментальных и расчётных исследований по оптимизации ДСД и разработки для таких систем конструкции высокопроизводительных ЦРД для мощных энергоблоков ЦКС.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ, ТЕХНОЛОГИИ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ УГЛЯ В ЦЕНТРОБЕЖНЫХ РЕЖУЩИХ ДРОБИЛКАХ

На рис.1 представлена конструктивная схема рабочей части ЦРД, схема взаимодействия куска материала с её элементами. Основными её узлами являются: ротор с вертикальной осью вращения с размещёнными на нём дробящими элементами, и неподвижный дробящий зубчатый венец, смонтированный в направляющих с возможностью вертикального перемещению на корпусе.

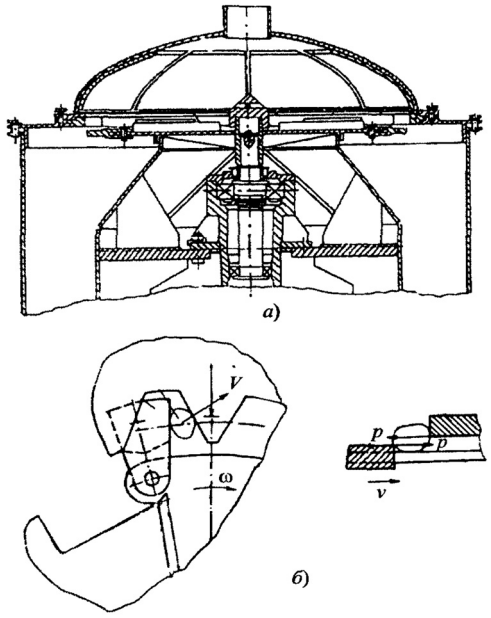

Рис.1 а) Конструктивная схема рабочей части ЦРД; б) Схема взаимодействия куска топлива с дробильными элементами.

Ротор выполнен в виде диска с направляющими лопатками и шарнирно закреплёнными по периферии диска поворотными молотками, размещёнными с минимальным зазором под нижней кромкой зубчатого резца. Основным разрушающим воздействием, реализуемым рабочим органом дробилки, является раскалывание исходных кусков между смежными кромками молотков и выступов венца, до крупности, определяемой регулируемым зазором между ними. Узкий гранулометрический состав продукта дробления ЦРД при низкой доле мелких частиц, и низкие энергозатраты на измельчение угля – до 1,8 кДж/кг (0,5 кВт•ч/т) обусловлены тем, что разрушение материала в ней осуществляется в основном наиболее экономичным способом — сколом, а истирание и раздавливание материала (при которых образуется значительное количество пыли), сведено к минимуму, а также эффективным отводом частиц требуемой крупности из зоны дробления. Ударный скол, реализуемый при разрушении материала в ЦРД — процесс, при котором происходит практически мгновенное концентрированное приложение значительных напряжений в месте соударения куска (движущегося вдоль торцевой поверхности вращающегося молотка) с выступом венца. При этом обеспечивается достижение локальных напряжений в месте контакта, превышающих предел прочности материала, после чего волна напряжений (волновой механизм Релея, общепринятый в настоящее время для описания ударных процессов при высокоскоростном соударении хрупких материалов [9]), распространяется по ослабленным участкам объёма. Учитывая высокую пористость и большое количество трещин в органическом топливе, такой процесс протекает очень интенсивно, разрушение материала происходит в основном по уже имеющимся дефектам, при минимальном пылеобразовании. В случае попадания на ротор металла, молоток отклоняется под действием заторможенного резцом куска в закрытые сверху специальные пазы на роторе, металл удаляется, после чего молоток под действием центробежных сил возвращается в радиальное положение. Частицы готового продукта дробления, а также мелкие частицы исходного материала, размер которых меньше зазора между нижней кромкой резца и диском ротора, не подвергаются действию

резца, не переизмельчаются, и поступают в ёмкость продукта дробления, что обуславливает низкое содержание в нём мелких фракций. В то же время после соударения с резцом частицы продукта дробления остаются на поверхности молотка и за счёт взаимодействия с ним, под действием инерционных сил, удаляются из зоны дробления. Этот процесс имеет важное значение для обеспечения эффективности работы дробилки при использовании влажного, замазывающего топлива, т.к. достаточные скорости для эвакуации частиц по молотку достигаются при значительных коэффициентах трения топлива о металл [10]. При соударении кусков топлива с резцом происходят постоянные колебания молотка, и «встряхивание» частиц. Теоретические основы работы ЦРД изложены в [10]. Опыт эксплуатации ЦРД подтвердил, что не происходит замазывания выходного зазора даже при его величине $6•10^{-3}$ – $10•10^{-3}$м и влажном глинистом топливе [3]. Это позволяет исключить из схемы котлов ЦКС сложную и взрывоопасную установку для подсушки угля.

На рис.2 представлены полученные по результатам испытаний ЦРД на ТЭЦ «Ахтме» [3] наиболее характерные зависимости величин максимального размера куска $\delta_{т,др}$, содержания частиц больше $10•10^{-3}$м R_{10} и содержание частиц крупнее $1•10^{-3}$м R_1 в продукте дробления в ЦРД сырого топлива — ирша-бородинского бурого угля и кузнецкого каменного угля марки Т с $\delta_{т,исх} = 150•10^{-3}$м, от окружной скорости ротора "$V_р$" и зазора "s" между венцом и диском, равном $10•10^{-3}$м. (т.е при степени дробления $i = \delta_{т,исх}/\delta_{т,др} \approx 15$).

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что ЦРД обеспечивает при мелком дроблении углей ($10•10^{-3}$м – $15•10^{-3}$м) гарантированный размер максимального куска и низкое содержание мелочи в готовом топливе. Путём регулирования окружной скорости ротора "$V_р$" и зазора "s" могут быть обеспечены гарантированный размер максимального куска и заданное содержание мелочи в продукте дробления.

При этом для каждого вида топлива существует оптимальная окружная скорость, при которой обеспечивается заданная крупность дробления при минимальном количестве мелочи (размером менее $1•10^{-3}$м). Необходимо отметить, что уровень этих скоростей (20 – 35 м/с) значительно ниже, чем требуемый для молотковых дробилок ударного действия ($V_{мд}$ = 60 – 80 м/с).

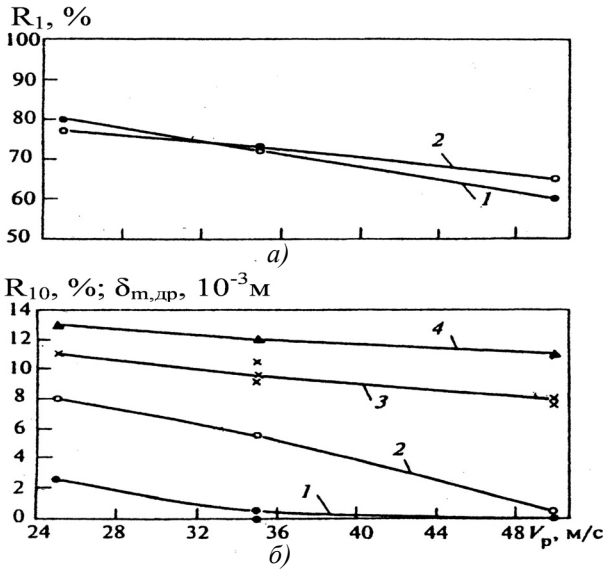

Рис.2 Характеристики продукта дробления в ЦРД в зависимости от окружной скорости ротора $V_р$: а)$R_1(V_р)$ 1 – бурый уголь, 2 – кузнецкий уголь; б)$R_{10}(V_р)$ 1 – бурый уголь, 2 – кузнецкий уголь; $\delta_{т,др}(V_р)$ 3 – бурый уголь; 4 – кузнецкий уголь.

Количество мелких фракций (менее $1•10^{-3}$м) при оптимальной окружной скорости ротора и при дроблении в одну стадию угля с максимальным размером кусков $150•10^{-3}$м до частиц с максимальным размером $10•10^{-3}$м (i ≈ 15) составило на буром угле $D_1 = D_{1д\,р} – D_{1исх} \approx 20\%$, на каменном $D_1 = 22\% – 25\%$, а при дроблении до размера частиц $15•10^{-3}$м (т.е. при i = 7,5) — соответственно $D_1 = 13\% – 14\%$ и $D_1 = 9\% – 10\%$. Эти величины в 3 – 4 раза ниже, чем при работе в аналогичных условиях молотковых дробилок. Аналогичные результаты получены при эксплуатации ЦРД: котельной шахты «Глубокая» (Макеевка) с котлами ДКВР-25КС на угле марки «Д»; котельной п. Шугозеро (Тихвинский район Ленобласти) с котлами КЕ-6КС на горючем сланце и угле, котельной ОАО «Ленинградсланец» [3], котельной Джесказганского ГОКа. на экибастузском угле [3,5,6]. Важно отметить, что с 2006 года дробилка ЦРД-35 обеспечивает в котельной «Шугозеро» подготовку топлива для 4-х котлов со слоевыми топками на кузнецких углях, т.к. ЦРД обеспечивает равномерный состав угля также среднего (до 20 – $40•10^{-3}$м) дробления с низким количеством мелочи, оптимальный для слоевых топок $D_1 = 4\% – 6\%$.

ИСЛЕДОВАНИЕ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ СИСТЕМЫ ДРОБЛЕНИЯ С «ЦРД» ПРИ ПОДГОТОВКЕ РЯДОВОГО УГЛЯ ДЛЯ УСТАНОВОК С «КС» И «ЦКС»

Проведённые исследования и опыт эксплуатации промышленных ЦРД показали [3,5,6], что при увеличении размеров кусков исходного топлива повышается доля мелочи в продукте дробления ЦРД за счёт возрастания количества соударений дробимого материала и его циркуляции в корпусе. Поэтому в случае поступления на энергоустановки КС и ЦКС крупного (рядового) угля размером кусков до $100•10^{-3}$м – $300•10^{-3}$м необходимо применение двухступенчатой системы дробления (ДСД). Однако при этом возникает задача определения оптимальной крупности первой ступени дробления по условию наименьшего выхода мелких фракций системы. В общем случае доля вновь образуемых мелких ($<\delta_м$) фракций $D_м$,% в ДСД может быть найдена из соотношения:

$$D_м = \int_0^{\delta_{m,исх}} G_{исх}(\delta)K_{\delta м}\mathrm{d}\delta + \int_0^{\delta_{m1}} G_1(\delta)K_{\delta м}\mathrm{d}\delta \qquad (1)$$

где $G_{исх}(\delta)$ – функция распределения частиц исходного продукта по размерам δ; $K_{\delta м}(\delta)$ – функция, отражающая долю частиц меньше размера $\delta_м$, получаемую при дроблении частиц размером δ; $\delta_{m,исх}$ – размер максимальной частицы в исходном продукте; δ_{m1} – размер максимальной частицы в продукте первой ступени дробления; $G_1(\delta)$ – функция распределения частиц продукта первой ступени дробления по размерам δ.

Расчёт минимума величины $D_м$ относительно δ_1 по соотношению (1) представляет собой решение вариационной задачи, требующей знания аналитического вида функций $G_1(\delta)$ и $K_{\delta м}(\delta)$, по которым в настоящее время имеется очень ограниченные данные. Проведённый анализ показал, что оценка величины δ_1 по условию минимума $D_м$ может быть произведена на основе экспериментальных зависимостей величины доли мелких фракций в готовом продукте ЦРД от степени дробления угля «i», полученных на стендовой дробилке ТЭЦ «Ахтме» и промышленных испытаний по соотношению:

$$D_м(i) = D_{1м}(i_1) + \\ +0.01[(100–D_{1м}(i_1)]D_{1м}(i/i_1)k_м \qquad (2)$$

где $D_М$(i),% – доля вновь образованных мелких фракций в угле после ДСД при общей степени дробления i; $D_{1М}(i_1)$ – то же после первой ступени при степени дробления в ней i_1; $D_{1М}(i/i_1)$ – то же в после второй ступени при степени дробления в ней $i_2 = i/i_1$; $k_м$ – коэффициент, учитывающий увеличение мелочи во второй ступени.

На рис.3, пунктирная кривая 1, представлена экспериментальная зависимость доли фракций меньше $1•10^{-3}$м (D_1) в готовом продукте ЦРД от степени дробления i каменных углей при максимальном размере частиц в продукте дробления $\delta_{m,др} = 10•10^{-3}$м, полученная по результатам испытаний на ТЭЦ «Ахтме», котельной «Шугозеро», Джесказганского ГОКа (при оптимальных окружных скоростях ротора); на кривой 2 – зависимость доли фракций меньше $1•10^{-3}$м (D_1) при $\delta_{m,др}$ $30•10^{-3}$м – $50•10^{-3}$м, на котлах со слоевыми топками котельной «Шугозеро».

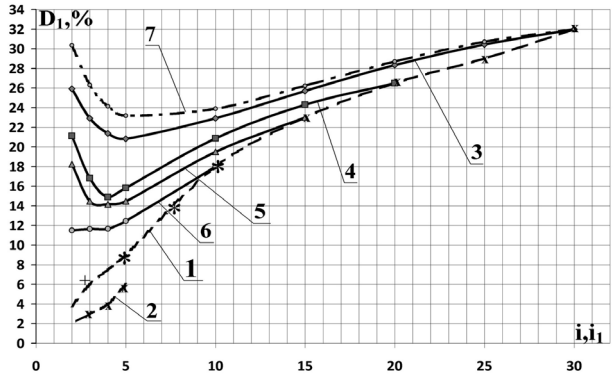

Рис.3 Характеристики продукта дробления в системах с ЦРД. Кривые 1 и 2 – опытные зависимости D_1 от i для одноступенчатой схемы («х» – котельная Шугозеро; «*» – ТЭЦ Ахтме; «+» – котельная ДжГОК); Кривые 3 – 7 – расчетные зависимости D_1 от i_1 для двухступенчатой схемы дробления.

На рис.3, пунктирная кривая 1, представлена экспериментальная зависимость доли фракций меньше $1•10^{-3}$м (D1) в готовом продукте ЦРД от степени дробления i каменных углей при максимальном размере частиц в продукте дробления $\delta_{m,др} = 10•10^{-3}$м, полученная по результатам испытаний на ТЭЦ «Ахтме», котельной «Шугозеро», Джесказганского ГОКа (при оптимальных окружных скоростях ротора); на кривой 2 – зависимость доли фракций меньше $1•10^{-3}$м (D_1) при δm,др $30•10^{-3}$м – $50•10^{-3}$м, на котлах со слоевыми топками котельной «Шугозеро».

На кривых 3 – 6 рис.3 показаны зависимости величины D_1,% в готовом топливе ДСД от

степени дробления в первой ступени «i_1», рассчитанная по (2) с использованием экспериментальная зависимостей кривых 1 – 2, при дроблении рядового каменного угля до максимального размера частиц $10•10^{-3}$ м (в случае использовании ЦРД в каждой ступени и при $k_м = 1$). Каждая кривая 3 – 6 рассчитана при постоянной степени дробления двух ступеней соответственно при i = 30; 20; 15; 10 (т.е. соответственно при $\delta_{m,исх} = 300•10^{-3}$м, $200•10^{-3}$м, $150•10^{-3}$м, $100•10^{-3}$м). Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. При высоких степенях дробления (i > 15) существует явно выраженный минимум величины D_1,%, и оптимальная степень дробления первой ступени $i_{1опт}$, при которых суммарное количество фракций менее $1•10^{-3}$м в ДСД будет наименьшим. При этом величина i1опт, уменьшается со снижением i. При максимальном размере куска в исходном угле $\delta_{m,исх} = 300•10^{-3}$м – $i_{1опт} \approx 5$, и дробление в первой ступени должно производится до $\delta_{m1} \approx 60•10^{-3}$м; при $\delta_{m,исх} = 200•10^{-3}$м – $i_{1опт} \approx 4$ и $\delta_{m1} \approx 50•10^{-3}$м; при $\delta_{m1} = 150•10^{-3}$м — минимум растянут, и $i_{1опт} \approx 3{,}3 – 4{,}5$, $\delta_{m1} \approx 35•10^{-3} – 45•10^{-3}$м.

2. При степенях дробления $i \leq 10$ имеется граничное значение степени дробления первой ступени $i_{1гр}$, ниже которого величина D_1 имеет примерно постоянное минимальное значение. Так, для $\delta_{m,исх} = 100•10^{-3}$м, $i_{1гр} = 4$, и дробление в первой ступени должно производится до $\delta_{m1} \approx 25•10^{-3} – 50•10^{-3}$м.

3. Использование ДСД с ЦРД позволяет снизить суммарное количество фракций < 1 мм в среднем на 40%. При этом приемлемый уровень D_1 < 20% – 22% может быть достигнут только при оптимальном значении i_1.

4. Увеличение мелочи во второй ступени за счёт наличия в ней дополнительных мелких фракций, не влияет на величину $i_{1опт}$. На кривой 7 рис.3 показана зависимость величины D_1, от «i_1», при $k_м$= 1,2 и i = 30; при этом — $i_{1опт} \approx 5$, как и при $k_м = 1{,}0$

5. При низких степенях дробления i < 5 – 6, должна применяться одноступенчатая схема с ЦРД.

При высоких степенях дробления в качестве первой ступени могут быть использованы не только ЦРД, но и некоторые дробилки других типов, среднего (до 30 – $50•10^{-3}$м) дробления (ДГБ и др). Однако в качестве последней ступени дробления должна использоваться только ЦРД.

Применение ДСД требует дополнительных затрат. Предложенная методика расчёта позволяет сделать обоснованное технико-экономическое сравнение вариантов систем для энергоустановок с КС и ЦКС.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ «ЦРД» ВЫСОКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ СХЕМЫ ТОПЛИВОПОДГОТОВКИ МОЩНЫХ ЭНЕРГОБЛОКОВ

В настоящее время на отечественные ТЭС поступают в основном рядовые угли, поэтому проектируемые и создаваемые мощные энергоблоки ЦКС и КС (в том числе ПГУ с ВЦГ в слое и КС) будут оборудоваться двухступенчатой схемой дробления. Как показано выше, для таких схем в качестве второй ступени должны быть использованы ЦРД. Однако в промышленных условиях отработаны конструкции ЦРД производительностью до 5,6 – 9,7 кг/с. Поэтому в настоящее время проводятся работы по созданию ЦРД высокой производительности (90 кг/с и выше). Обобщение результатов исследований и испытаний различных модификаций ЦРД на различных топливах позволили получить зависимость для определения производительности ЦРД по формуле [10]:

$$Q_д = K_0 K_T K_i K_П d^2 s n \qquad (3)$$

где: K_0 – масштабный коэффициент; K_n – коэффициенты, соответственно зависящие: K_T – от свойств топлива; K_i – от степени дробления, КП – от прочности материала; d – диаметр ротора; s – выходной зазор; n – число оборотов ротора.

Проведенный расчётный анализ определения параметров ЦРД производительностью до 90 кг/с по соотношению (3) показал, что отработанная конструктивная схема дробилки малой мощности (рис.1) не может быть использована. Например для ЦРД производительностью 33 кг/с, которая может быть применена для блока 200 мВт на углях марки Т, СС при дроблении топлива до $10•10^{-3}$ м и при оптимальной окружной скорости 25 – 35 м/с должна иметь диаметр диска более 3,8 м. Такой диаметр ротора является практически неприемлемым по условиям обеспечения жёсткой величины зазоров между молотками и зубчатым венцом, а также трудностей обеспечения вибрационной надёжности. Проведенные проработки показали, что требуемые параметры ЦРД могут быть

обеспечены при её выполнении по двухдисковой конструктивной схеме [8]. На рис.4 представлена конструкция двухдисковой ЦРД с диаметром ротора 2,2 м производительностью 33 кг/с при дроблении каменного угля до $10•10^{-3}$м. Конструкция выполнена со специальным устройством, равномерно распределяющим топливо по каждому диску, с регулированием на каждом диске с защитными поворотными секторами, с коническим одноступенчатым редуктором, предохранительными муфтами, асинхронным двигателем с частотным регулированием, двухопорной установкой вала. Одной из главных проблем, которая должна быть решена при для котла ЦКС при работе на антрацитах и углях марки Т — обеспечение размера куска в продукте дробления не более $6•10^{-3}$м, что обусловлено в их низкой реакционностью.

В представленной конструкции разработаны технические решения узла дробления угля до $6•10^{-3}$м при одновременном повышении надёжности ЦРД. Каждый молоток ротора выполняется с резцовым радиальным выступом в задней части, а передняя часть его поверхности является продолжением канала для движения топлива [11]. При этом над выемками диска выше молотков установлены на шарнирах секторные вставки. В результате исключается возможность попадания частиц больше выходного (до $6•10^{-3}$м) в продукт дробления. В то же время при попадании металла молотки могут свободно отклоняться в выемки на диске под поворотным сектором. В конструкции исключены каналы для движения исходного материала, что даёт возможность увеличить количество молотков на дисках (до 30 штук). Это существенно увеличивает срок службы резцов до замены.

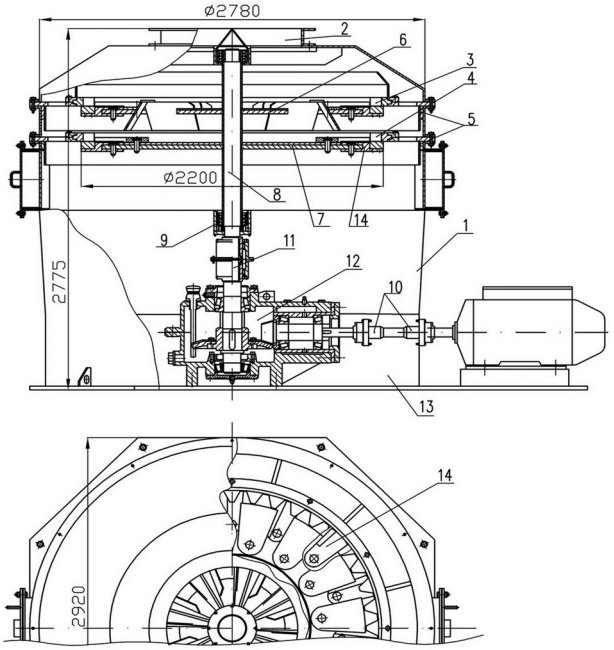

Рис.4 Двухдисковая ЦРД-2-2200. 1- корпус; 2 – входной патрубок; 3, 4 – зубчатые венцы; 5 – футеровка; 6 и 7– диски; 8 – вал; 9 – блок подшипников; 10 и 11 - муфты; 12 – редуктор К1; 13 – патрубок отводной; 14 – молоток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования показали, что фракционный состав топлива, требуемый для эффективной работы котлов и газогенераторов с КС, ЦКС, (мелкодробленого до $6•10^{-3}$м – $15•10^{-3}$м угля с равномерным гранулометрическим составом при минимальном содержании мелких фракций), а также слоевого типа, в случае поступления на ТЭС крупнокускового рядового угля (до $300•10^{-3}$м) может быть получен в двухступенчатой системе дробления с ЦРД при выполнении первой ступени с оптимальной степенью дробления. Получены расчётные соотношения для оценки оптимального размера частиц продукта дробления первой ступени, при котором образуется наименьшая суммарная доля вновь образованных мелких фракций в готовом топливе $D_{1M}(i_1,i)$ и с использованием экспериментальный зависимостей проведён расчётный анализ по определению оптимальных параметров системы дробления. Например показано, что при заданном максимальном размере частиц в готовом угле $10•10^{-3}$м и высоких степенях дробления (i = 15 – 30), при максимальном размере куска в исходном угле $\delta_{m,исх} = 300•10^{-3}$м, оптимальная степень дробления в первой ступени – $i_{1опт} \approx 5$, и $\delta_{m1} \approx 60•10^{-3}$м; при $\delta_{m,исх} = 200•10^{-3}$м – $i_{1опт} \approx 4$ и $\delta_{m1} \approx 50•10^{-3}$м; при $\delta_{m1} = 150•10^{-3}$м – $i_{1опт} \approx 3,3 – 4,5$, $\delta_{m1} \approx 35 – 45•10^{-3}$м. При $\delta_{m,исх} = 100•10^{-3}$м дробление в первой ступени может производиться до $\delta_{m1} \approx 25 – 50•10^{-3}$м.

При низких степенях дробления i < 5 – 6, должна применяться одна ступень с ЦРД.

Использование двух ступеней дробления по оптимальной схеме при (i = 10 – 30) позволяет снизить количество вновь образованных фракций меньше одного миллиметра в готовом топливе в среднем на 40%. При высоких степенях дробления в качестве первой ступени могут быть использованы не только ЦРД, но и некоторые дробилки других типов среднего (до 40 – 60•10^{-3}м) дробления (БГД и др.). Однако в качестве последней ступени дробления должна использоваться ЦРД. Предложенная методика расчёта позволяет сделать обоснованное сравнение вариантов ДСД для установок с ЦКС.

Для ДСД проектируемых и создаваемых мощных энергоблоков ЦКС и КС (в том числе ПГУ с ВЦГ) разработана конструкция и рассчитаны параметры двухдисковой двухопорной ЦРД высокой (30 кг/с и более) производительности. Конструкция выполнена с рядом принципиально новых узлов, обеспечивающих эффективную работу крупногабаритной ЦРД. Разработан узел дробления, позволяющий решить актуальную проблему получения размера частиц не более 6•10^{-3}м (при низком содержании пылевидных фракций), что необходимо для работы котлов с ЦКС на низкореакционных топливах — антрацитах и каменных углях марки Т.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баскаков А.П. Котлы и топки с кипящим слоем / Баскаков А.П. Мацнев В.В. Распопов И.В. М. Энероатомиздат.1995г. с 267.
2. В.З.Лейкин. Разработка и исследование оборудования подготовки топлива для установок с кипящим слоем / В.З.Лейкин, П.М.Лузин, В.Е.Маслов. Труды ЦКТИ-Л.1986- №228, с 27 – 35.
3. Лейкин В.З. Создание оборудования и отработка технологии подготовки топлива для сжигания в циркулирующем и стационарном кипящем слое /Лейкин В.З. Теплоэнергетика 2008 г. № 1, с 71 – 80.
4. В.З.Лейкин, Центробежная дробилка для хрупких материалов / В.З.Лейкин, В.П. Нерадов., Авт. свидетельство.№1685519 кл.ВО2С13/18 Опуб. в Бюл, Из. 1991г №39.
5. Vladivir Z. Leikin, Viktor P. Neradov et al. Cruching Device. United States Patent 5046670 Sep.10,1991.
6. Нерадов В.П., Результаты испытаний дробилки ДР-25. Нерадов В.П., Кремень М.В. Труды ЦКТИ. 1993 – №276, с 47 – 52.
7. Нерадов В.П. Результаты испытаний дробильного оборудования для котлов КС. / Нерадов В.П., Долгополова М.А. Труды ЦКТИ .1986 – №228, с 39 – 46.
8. В.З.Лейкин, Центробежная дробилка / В.З.Лейкин, В.П.Нерадов Авт. свидетельство.№1782654 кл.ВО2С13/18 Опубл. в Бюл..изобретений .,1992 – №10.
9. Алимов О.Д. Удар. Распространение волн деформации в ударных системах. Алимов О.Д. М.Наука.1985 225с.
10. Лейкин В.З. Теоретический анализ и закономерности работы центробежных режущих дробилок / Лейкин В.З. Электрические станции – 2010 – №2 с. 12 – 22.
11. Лейкин В.З. Центробежная дробилка. В.З.Лейкин, В.П. Нерадов, В.Д. Герасимов. Патент №1761270 кл. В02С13/16 Опубликовано в Б.И.,1992г №3

© Лейкин В.З., Агеев В.А.