

Условия безопасной работы аппаратов термической сушки угля*

В статье представлена сравнительная информация об аппаратах, применяемых сегодня в России и за рубежом при термической сушке угля мелких классов. В первой части статьи («Уголь» №5-2014) указывались причины возгорания угля при сушке, а также рассматривались сушильный барабан и сушка в «виброкипящем» слое. Во второй части рассматриваются микроволновые излучатели, труба-сушилка, паровая сушилка и др. Наряду с техническими и технологическими особенностями авторами анализируется экономическая составляющая применения указанных аппаратов.

Ключевые слова: термическая сушка угля, сушильный барабан, сушка в «кипящем» слое, труба-сушилка, влага угля.

Контактная информация:

e-mail: vak@cetco.ru; kirillov@cetco.ru

СУШКА УГЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Использование микроволновых излучателей позволяет осуществлять безопасную и высокоэффективную сушку углей. Данная технология характеризуется отсутствием оборудования для сжигания топлива. Для нее требуются небольшие дымоходы, оборудование для пылеулавливания и т. п. За счет подвода энергии на сушку через микроволновое излучение можно не использовать рециркуляцию отходящих газов для самоинертизации аппарата. Установка становится технологически проще.

Капитальные затраты на строительство установки микроволновой сушки теоретически невысоки — ниже, чем на описанные ранее контактные конвективные сушилки. Все хорошо и с техникой безопасности. Но стоимость электроэнергии для сушки с использованием микроволнового излучения значительно выше стоимости первичного топлива, используемого для получения горячих газов в установках конвективной контактной



Владимир ГАРБЕР
 Доктор-инженер,
 руководитель
 Инженерного бюро сушки
 и сжигания топлив
 (Дюссельдорф, Германия)



Вадим КОЗЛОВ
 Главный технолог
 Угольного департамента
 Коралайна Инжиниринг —
 CETCO



Кирилл КИРИЛЛОВ
 Руководитель проектов
 Угольного департамента
 Коралайна Инжиниринг —
 CETCO

сушки, например в сушильных барабанах, или сушилках «виброкипящего» слоя.

Для сравнения выполним расчет сушки угля с показателем исходной влажности 14,5% до достижения значения 7,5%.

Конвективная сушка со сжиганием угля. Конвективная сушилка с температурой горячих газов 700°C, температурой отходящих газов 100°C, с учетом потерь тепла через поверхность и недожог топлива имеет тепловой КПД около 82%. На испарение 1 т влаги тратится 1,32 МВт тепловой энергии, или 206 кг угля на 1 т испаренной влаги.

На получение 1 т высушенного угля требуется 0,117 МВт тепла. Расход топлива с калорийностью 5730 ккал/кг составляет 16,75 кг на 1 т высушенного угля. При стоимости угля 1200 руб./т стоимость сушки одной 1 т угля составляет 20 руб. Стоимость испарения влаги из 1 т угля составляет 247 руб.

Микроволновая сушка угля. При микроволновой сушке тепловая эффективность процесса — около 90%. Соответственно, на испарение 1 т влаги потребуется 1,2 МВт электрической энергии. На получение 1 т высушенного угля потребуется 0,107 МВт электрической энергии, т. е., при стоимости электроэнергии 0,06 дол./кВт·ч (1,8 руб./кВт·ч) необходимо затратить 1800 руб./МВт. Стоимость испарения воды из 1 т угля составляет 2160 руб., стоимость получения 1 т подсушенного угля составляет 192 руб., что в среднем в 8-9 раз больше, чем при конвективной термической сушке. Приведенные выше сравнительные расчеты производственных затрат объясняют, почему микроволновая сушка угля не применяется на сушильных установках.

Дополнительно стоит отметить различия, которые имеются в поведении угля при конвективной и микроволновой сушке:

— при микроволновой сушке образование пара происходит внутри кусочков угля, и пар, разрывая поры, делает высушенный уголь более пористым и легким. Уменьшается удельная плотность, высушенный уголь занимает больше места при транспортировке, повышаются затраты на транспортировку. Также, за

* Окончание. Начало см. журнал «Уголь», №5-2014, с. 104-107.

счет разрыва частиц угля, снижается их прочность, повышается доля мелких фракций, образуется больше мелочи при пересыпках;

— при конвективной сушке тепло подводится через внешнюю поверхность частиц угля, пар выходит не разрывая пор. Выход влаги из пор приводит к их сжатию, уголь при сушке сжимается, занимает меньше места при транспортировке.

Описанная «внутренняя» усадка, наряду с изменением веса, ведет к снижению транспортных расходов. Процесс усадки имеет значение при сушке бурых углей и углей марки Д. Для углей других марок «внутренняя» усадка незначительна.

Практическое значение для всех марок углей имеет «внешняя усадка», связанная с лучшей текучестью сухого угля. Сухой уголь плотнее ложится в вагоны при загрузке, это ведет к снижению транспортных расходов.

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ТРУБЫ-СУШИЛКИ

В отличие от описанных выше аппаратов трубы-сушилки устанавливаются вертикально. Эти аппараты не имеют подвижных частей (кроме питателей угля), что значительно упрощает герметизацию корпуса. Присосы атмосферного воздуха при разрежении составляют менее 3% в сушильной камере и около 5% в системе газоочистки. Возможна работа при избыточном давлении в сушильной камере, что полностью устраняет возможность присосов.

В сушильной камере легко поддерживается нужное при сушке угля содержание кислорода — менее 9%. Это

позволяет сушить в вертикальной трубе угли с любым содержанием летучих, например бурые угли с содержанием летучих до 45%.

Высушиваемый восходящим потоком горячих газов материал находится в вертикальной сушилке только несколько секунд. При производительности 100 т/ч по сухому продукту в объеме вертикальной трубы находится всего 100-200 кг угля. Это исключает трудности с накоплением и перегревом угля при аварийной остановке, например при исчезновении электропитания.

Вертикальные трубы-сушилки имеют неподвижный цилиндрический корпус, хорошо выдерживающий давление взрыва. Аппарат можно сделать абсолютно взрыво- и пожаробезопасным.

Технологический комплекс (рис. 1) на основе вертикальной трубы-сушилки с малоинерционным генератором горячих газов, работающим на угольной пыли, и сухой системой газоочистки обеспечивает безопасную сушку угля, в том числе для углей с высоким содержанием летучих.

Часть угольной пыли, отбираемой из рукавных фильтров перед дымососом, идет на сжигание в генератор горячих газов. Таким образом, установка сама снабжает себя топливом. При этом для приготовления пылеугольного топлива возможно использование углей, отличных по марке от высушиваемого.

В вертикальных трубах-сушилках при снижении влажности угля на 10-12% удельный расход угольной пыли составляет 20-25 кг/т сухого продукта. В зависимости от стоимости электроэнергии и стоимости сжигаемого угля стоимость сушки составляет 40-70 руб. /т сухого продукта. Удельные производственные затраты на сушку составляют 1-3% от стоимости подсушенного угля.

СУШКА УГЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРА

Известны и распространены на тепловых электростанциях аппараты для сушки угля с использованием отработанного пара, забираемого после турбин. В этих аппаратах нет прямого контакта между паром и высушиваемым углем. К сушильному аппарату направляется часть отработанного пара, забираемого до конденсатора пара. При этом аппарат сам выполняет роль конденсатора — образующийся конденсат возвращается в систему водоподготовки энергетического котла. Такое решение повышает суммарный тепловой КПД котла и позволяет вести сушку, используя «бесплатную» тепловую энергию. На установках с паровой сушкой хорошо решаются также вопросы взрыво- и пожаробезопасности.

Аппаратное решение может представлять собой сушилку кипящего слоя для мелкокускового угля, в камере сушки которой установлены трубные змеевики, в которые подается пар. Применяются также вращающиеся сушильные барабаны с пересыпными полками (рис. 4), обогреваемыми паром, подаваемым в трубные панели.

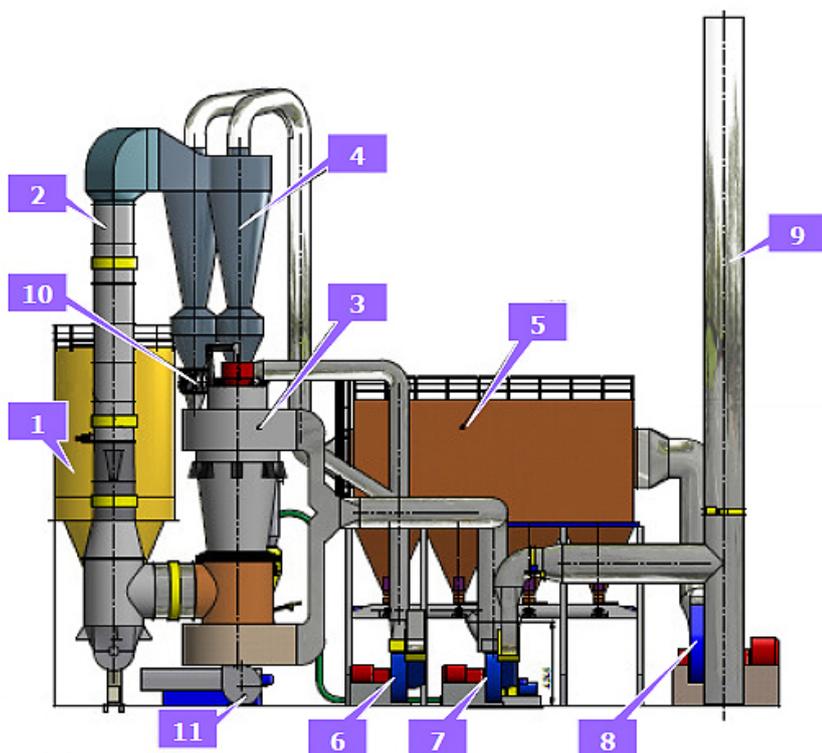


Рис. 1. Установка вертикальной трубы-сушилки с генератором горячих газов и сухой системой газоочистки [1]: 1 — бункер сырьевого материала; 2 — вертикальная трубная сушилка; 3 — генератор горячих газов; 4 — разгрузочные циклоны; 5 — рукавный фильтр; 6 — вентилятор воздуха на горение; 7 — вентилятор воздуха на смешивание; 8 — основной дымосос; 9 — дымовая труба; 10 — шлюзовой затвор; 11 — вентилятор подачи угольной пыли к горелке.

История применения труб-сушилок насчитывает уже немало лет. Аппараты данного типа были довольно широко распространены в Англии и Германии в период с 1930-х по 1970-е гг., и в СССР в 1970-е — 1980-е гг. при сушке углей мелких классов (3-10 мм). Трудности их эксплуатации были связаны с малым временем пребывания материала в зоне сушки и, соответственно, необходимостью быстрого реагирования на изменения загрузки или влажности. Это плохо сочеталось с использованием в составе сушильной установки высокоинерционной кирпичной топки с подвижной решеткой для сжигания кускового угля.

Другая трудность заключалась в абразивном износе металлических стенок трубы-сушилки вследствие высокоскоростного потока смеси горячих газов с частицами угля. Корпус вертикальных труб-сушилок и части циклонов разгрузки, работавших в России и на Украине, изготавливались в основном из дорогой нержавеющей стали. Отдельные элементы заменялись раз в полгода.

Проблемы при сушке в вертикальных трубах-сушилках углей тонких классов 0-0,5 мм и 0,5-2 мм были связаны в основном с конструкцией забрасывающих устройств.

Интерес производителей к трубам-сушилкам повторно возник в 1990-е гг. Их стали активно внедрять на сушке гранулированных металлургических шлаков для производства шлако-цементов, а также для сушки древесных материалов при производстве древесно-стружечных плит. За прошедшее время были отработаны новые конструктивные и схемные решения, которые избавили современные трубы-сушилки от большинства указанных выше недостатков.

Конструкция аппарата получила принципиальные изменения:

- корпус трубы-сушилки и элементы циклонов выполняются с защитой от абразивного износа (керамика (рис. 2), каменное литье, специальные обмазки). Срок службы абразивной защиты увеличился до 10-15 лет. Использование нержавеющей стали при изготовлении больше не требуется;
- разработаны современные забрасыватели для работы с материалами класса 0-13 мм, 0-0,5 мм, 0,5-2 мм, и для материалов класса 0-0,05 мм;
- в комплекте сушильной установки используются малоинерционные генераторы горячих газов (рис. 3), камера сгорания которых выполнена без огнеупорной обмуровки для работы при температуре горячих газов 700—900°С.

Благодаря развитию технологии стало возможным использование вертикальных труб-сушилок для подсушки кускового угля крупно-



Рис. 2. Противоабразивная защита корпуса вертикальной трубы-сушилки



Рис. 3. Генератор горячих газов, работающий на угольной пыли

стью 20 мм и более по аналогии с устройством подсушки угля на тепловых станциях, но с большей интенсивностью, с организацией противотока материала и горячих газов, с рециклом части кускового материала, выводимого из трубы-сушилки снизу. А также использование вертикальных труб-сушилок для сушки жидких продуктов, подаваемых через форсунки—распылители, например угольных шламов.

Стоимость сушильных установок с использованием отработанного пара превышает примерно в три раза стоимость описанных выше конвективных сушилок. Но при использовании в схеме тепловой станции эти установки имеют безусловное преимущество — бесплатный источник тепла. Без тепловой станции на углеобогащательных фабриках установки сушки с использованием пара не применяются, так как пар как теплоноситель по меньшей мере в два раза дороже, чем прямое сжигание угля с получением горячих газов.

СУШКА УГЛЯ, СОВМЕЩЕННАЯ С ПОМОЛОМ

Основная масса добываемого угля сжигается в энергетических котлах. Перед сжиганием уголь измельчают примерно до 90-120 мк и полученную пыль подают на сжигание. Помол угля совмещают с сушкой, используя такие аппараты, как шаровая или



Рис. 4. Внутреннее устройство барабанной паровой сушилки [2]

Сравнительные характеристики конвективных сушилок с прямым контактом

Параметры процесса	Вертикальная труба-сушилка	Сушилка «виброкипящего» слоя	Сушильный барабан
Температура горячих газов, °С	700 – 800	250 – 350	500 – 600
Температура уходящих газов, °С	90 – 100	90 – 100	90 – 100
Количество испаряемой влаги, кг/ч	18,64	18,64	18,64
Испарение влаги в 1 м ³ внутреннего объема сушильной камеры, кг/м ³	500 – 1500	200 – 300	70 – 100
Тепловая мощность сушильного аппарата, зима, МВт	22,6	28	27,7
Удельный расход тепла на сушку (испарение 1 т воды), МВт/т	1,21	1,5	1,42
Количество уходящих газов, м ³ /ч	150 000	480 000	270 000
Количество уходящих газов на 1 т испаряемой влаги, м ³ ·ч /т	8200	25 700	14 700
Суммарные присосы атмосферного воздуха, %	<10	15	20
Количество материала, находящегося в аппарате во время сушки, кг	200	10 000 – 15 000	20 000 – 30 000
Степень защиты от взрыва и возгораний в установке	высокая	низкая	низкая
Площадь размещения установки с учетом системы газоочистки, вентиляторов, дымососов и газоходов, м	12x30	15x80	15x80
Металлоемкость, т	70	150	190
Суммарная потребляемая электрическая мощность, кВт	635	2150	1390
Сроки монтажа установки, мес.	2 – 3	3 – 4	4 – 5
Ремонтные работы	1 раз в 4 года 7 – 10 дней	1 раз в год 7 – 14 дней	1 раз в год 7 – 14 дней

стержневая мельница, молотковая мельница, валковая мельница. Для сушки используют отходящие после котла горячие газы с температурой 250-300°С. Содержание кислорода в отходящих газах — около 7-8 %, что обеспечивает безопасное ведение процесса помола и сушки.

При сушке угля на углеобогатительных фабриках совмещение сушки и помола угля может применяться для приготовления пылеугольного топлива для сушильных установок.

Важно отметить, что основа безопасной сушки — ведение процесса при пониженном содержании кислорода — отработано именно на сушильно-помольных установках тепловых станций.

СРАВНЕНИЕ КОНВЕКТИВНЫХ СУШИЛОК

Сравнение конвективных сушилок с прямым контактом между горячими газами и влажным материалом приведено в *таблице*.

Сравнение выполнено для установок получения подсушенного угля производительностью по конечному продукту 125 т/ч, при исходной влажности угля 18,2% и конечной влажности 6%.

Таблица позволяет сравнить удельные расходы топлива и электроэнергии на сушку, а также сравнить объемы строительно-монтажных работ, например на строительство сушильного отделения из четырех установок суммарной производительностью 500 т/ч (125 т/ч x 4 шт.) для обогатительной фабрики производительностью 3 млн т в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основой безопасной организации сушки угля являются: — пониженное содержание кислорода внутри сушильного аппарата. При конвективной сушке должен применяться метод самоинертизации за счет возврата в установку части отходящих газов;

— максимально допустимое содержание кислорода (не более 9%) и другие показатели пожаро- и взрывоопасности угля должны определяться индивидуально для каждой марки угля, подаваемого на сушку. На основе этих показателей разрабатывается сушильная установка;

— обеспечение равномерной загрузки аппарата влажным углем с постоянным контролем загрузки и влажности;

— использование малоинерционных генераторов горячих газов, обеспечивающих точное и быстрое регулирование процесса сушки;

— обеспечение пожаро- и взрывобезопасности сушильного аппарата на основе выбора оптимальной конструкции или конструктивной адаптации аппарата для сушки горючих материалов путем повышения прочности аппарата. Обеспечение герметичности, сокращение присосов атмосферного воздуха, оснащение аппарата и системы газоочистки предохранительными взрывными клапанами, а также разгрузочной камерой достаточного объема для тушения возгоревшегося угля;

— на основе приведенного выше анализа по совокупности качеств и показателей наиболее эффективными конвективными аппаратами с прямым контактом для сушки мелких углей и шламов представляются вертикальные трубы-сушилки при одновременном использовании малоинерционных генераторов горячих газов, работающих при сжигании угольной пыли.

Основные достоинства вертикальных труб-сушилок:

- минимальные удельные расходы топлива и электроэнергии на сушку;
- наибольшую безопасность процесса сушки углей, в том числе бурых и иных углей с высоким содержанием летучих;
- минимальные размеры сушильного отделения — сокращение капитальных затрат на строительство;
- возможность сушки мелких углей до 25 мм и отдельно угольных шламов.

Список литературы

1. Думенко Т. Региональная научно-техническая конференция «Экономика, эффективность и безопасность термической сушки угля» // Уголь. — №11. — 2013. — С. 76-79.
2. <http://www.buettner-energy-dryer.com>