

# Анализ работы аппаратов для сушки угля.

## Причины возгорания угля при сушке

В настоящее время работа обогатительных фабрик характеризуется повсеместно увеличением доли угольных продуктов мелких классов и высокой влажностью этих продуктов. Аппараты механического обезвоживания не обеспечивают требуемой конечной влажности продуктов обогащения. Приходит осознание необходимости строительства сушильных установок в составе угле- обогатительных фабрик. Возникает вопрос о выборе оптимального аппарата для сушки угля.

Выпускается множество хороших сушильных аппаратов для твёрдых материалов с размерами частиц от 0 до 50 мм, в диапазоне начальной влажности 30-10%, конечной влажности 0,5 – 5%. Это прежде всего сушильные барабаны, сушилки виброкипящего слоя / кипящего слоя, ленточные сушилки и другие. Эти аппараты прекрасно работают при сушке промышленных материалов, таких как концентраты руд металлов, глины, песок и т.п.

Какие из этих аппаратов можно применять для сушки углей? Чем вызваны возгорания углей в сушильных аппаратах, взрывы в аппаратах или системе пылеулавливания и подобные явления, которые вызывают стойкое нежелание /опасение руководителей углеобогатительных предприятий сушить уголь?

Эти явления не связаны в большинстве случаев с человеческим фактором, неумением персонала сушильных отделений работать, недисциплинированностью, нерадивостью и т.п. Наоборот, руководители и работники сушильных отделений, которых я знаю, это грамотные и дисциплинированные специалисты. Почему же возникают возгорания угля при сушке?

Основной ошибок при выборе сушильного аппарата, построения сушильного комплекса является поверхностное рассмотрение при проектировании вопросов взрыво- и пожаро-безопасности, базирующееся на устаревших нормативных материалах, отсутствии у проектировщиков современных методик расчета сушки органических топлив, таких как уголь, торф, мелкие древесные материалы.

## 1. Сушильный барабан.

Начнём с рассмотрения сушильных барабанов, так как это основной аппарат, применяемый в России и в мире для сушки кусковых твёрдых материалов.



Рис 1. Сушильный барабан

Бердичевская Фирма Прогресс - традиционный, с советских времён, производитель сушильных комплексов на базе барабанных вращающихся сушилок пишет следующее: «Сушилки барабанные вращающиеся БН (диаметром до 4,5 м) являются аппаратами непрерывного действия. Предназначены для удаления влаги (сушки) невзрывоопасных, непожароопасных, нетоксичных сыпучих материалов.» Это означает, что барабанные сушилки неприменимы для сушки углей. Почему?

Причины конструктивного характера:

- Давление при взрыве подсушенного мелкодисперсного угольного материала достигает 9,5 бар. Цилиндрический корпус сушильного барабана с толщиной стенки 20-30 мм как правило выдерживает кратковременное взрывное давление без заметных деформаций. Загрузочная и разгрузочная камеры сушильного барабана имеют плоскую вертикальную фронтальную стенку, плоский торцевой люк, которые конструктивно не выдерживают взрывное давление ни по отдельности, ни тем более в сборе с сушильным барабаном через эластичные, лабиринтные или другие узлы уплотнения. Торцевые камеры сушильных барабанов не имеют предохранительных взрывных клапанов, рассчитанных на сброс продольной взрывной волны.
- Причины технологического характера: Условиями возникновения взрыва или возгорания угля являются наличие/появление в одном аппарате одновременно трёх факторов – «немецкий треугольник взрывоопасности»:
  - а) наличие в объёме аппарата мелкодисперсного угольного материала – это сушильный барабан обеспечивает;
  - б) наличие источника воспламенения температурой 250-450°C – это также имеется, так как сушка ведётся горячими газами с температурой до 600-700°C;
  - с) наличие кислорода в горячих газах.

Какой уровень содержания кислорода в газах является безопасным? По опыту работы немецких сушильно-помольных установок содержание кислорода нужно поддерживать на уровне менее 9%, при 10% автоматически отключать установку и принудительно инертизировать внутренний объём сушильного аппарата. Такое поведение обуславливает факт, что на более чем 800 немецких установках для сушки и одновременного помола угля (это опаснее чем просто сушка) за 50 лет эксплуатации не было взрывов и возгораний.

Обеспечить содержание кислорода в объёме сушильного барабана на уровне менее 9% не просто. Основная причина – неплотности в местах контакта вращающегося барабана и торцевых камер, места загрузки и выгрузки материала, а также в системе газоочистки. На технологических линиях сушильными барабанами общий суммарный уровень присосов внешнего воздуха с содержанием кислорода 21% часто составляет более 30%, если не принимаются специальные меры.

Специальные меры по конструктивной доработке сушильного барабана:

- уплотнение загрузки и выгрузки материала,
- изменение конструкции сушильного барабана и мест сочленения вращающегося барабана и торцевых камер, то суммарный уровень присосов в сушильном

комплексе (сушильный барабан с узлами загрузки и выгрузки + система газоочистки + газоходы можно снизить до 15-20%.

За счёт применения самоинертизации сушильной системы (возврата части отходящих после сушки газов) содержание кислорода в греющих газах можно снизить до  $O_2 = 12-15\%$ , но не до уровня  $O_2 = 8-9\%$ , требуемого европейскими правилами техники безопасности для горючих материалов.

В странах СНГ нет ни одной технологической линии оборудованной для сушки угля в соответствии с современными знаниями и европейскими требованиями. Этим объясняются имевшие место хлопки, возгорания и взрывы при сушке угля.

Этим объясняется также нежелание многих руководителей строить сушильные отделения в составе обогатительных фабрик, несмотря на быструю окупаемость и высокую экономическую целесообразность сушки угля.

Проблемой эксплуатационно-технологического характера является также количество угля находящееся в объёме сушильного аппарата при сушке.

Производственная ситуация ведущая к возгоранию угля или взрыву в сушильном барабане развивается по сценарию А-Б-С-Д-Е, описанному ниже:

А. Идёт стационарный процесс сушки с равномерной загрузкой влажного угля в сушильный барабан. При загрузке 100 т/час влажного угля и времени прохождения угля по сушильному барабану 15-20 мин в барабане находится 25-30 тонн угля с влажностью, например, 15% в районе загрузки и 5% в районе выгрузки.

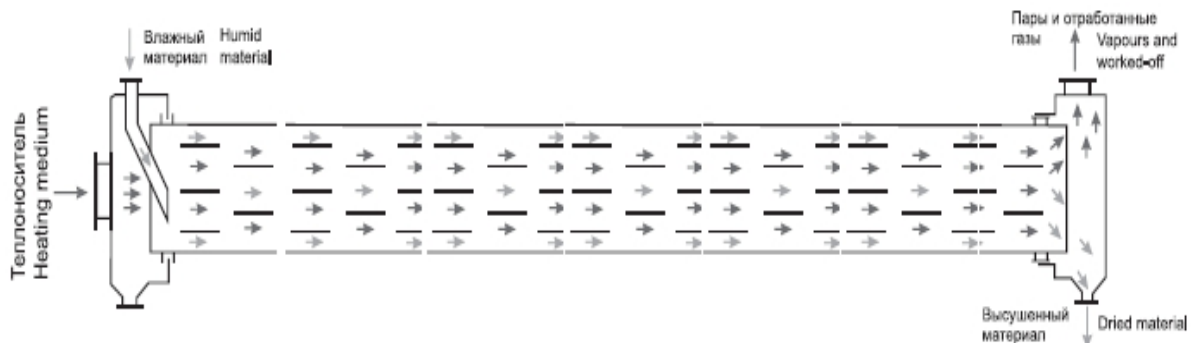


Рис 2. Схема сушильного барабана.

Б. на время 5-10 минут снижается подача влажного угля в сушильный барабан;

Температура отходящих газов, по которой обычно регулируют подачу топлива в топочное устройство, реагирует на событие 2 с задержкой, так как в барабане уже находится 25-30 тонн высушиваемого угля, который продолжает отбирать тепло у газов. Задержка реакции датчика на выходе из барабана составляет несколько минут.

С. После реакции датчика температуры отходящих газов, подаётся сигнал на снижение подачи топлива. Топочное устройство кирпичной кладки (вес около 200 тонн) является инерционным аппаратом, на колосниковой решётке которого уже находится около четверти часового расхода топлива. Топочное устройство реагирует на изменение подачи топлива с задержкой. Суммарное время задержки реакции на изменение уровня загрузки может составлять 10 минут и более

На рисунках 3, 4, 5 показаны графики изменения температур по длине сушильного барабана или другой продольной сушилке при нормальном режиме и в ситуации, приводящей к возгоранию/взрыву.



Рис 3. Распределение угля по длине сушильного барабана при равномерной загрузке и при снижении загрузки до 50% на время 5-10 минут.

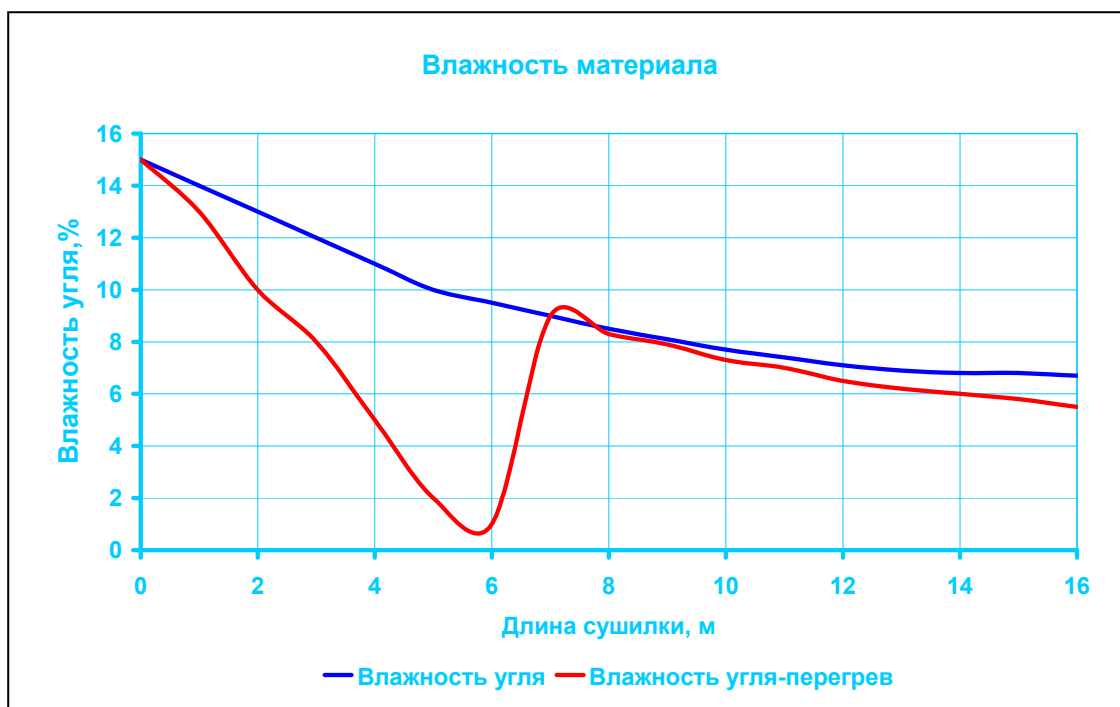


Рис 4. Изменение влажности угля по длине сушильного барабана при равномерной загрузке и при снижении загрузки до 50% на 5-10 мин.

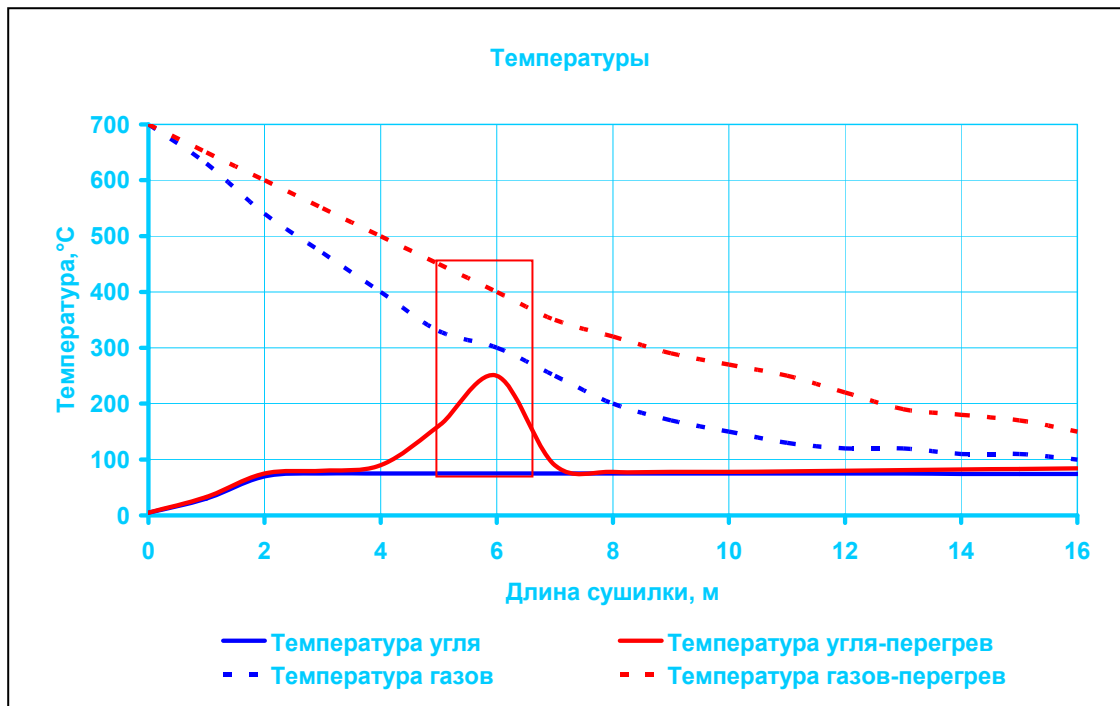


Рис 5. Изменение температур угля и газов по длине сушильного барабана при равномерной загрузке и при снижении загрузки до 50% на 5-10 мин. Показана зона воспламенения.

Д. в сушильном барабане возникает зона угля, который высушился до конечной влаги не к концу аппарата, а уже к середине аппарата. Этот уголь, потеряв остатки свободной влаги, начинает перегреваться до температур 100 °C – 150 °C и более. В особенности быстро перегреваются мелкие частицы. После температуры 90 °C начинается заметный выход летучих. Одновременно в середине барабана повышается уровень температуры горячих газов, так как интенсивное снижение температуры за счёт испарения из угля свободной влаги закончилось, материала в средней части аппарата значительно меньше, чем обычно.

После испарения из угля свободной влаги начинается повышение температуры угля выше 70-90 °C до достижения температуры тления угля на поверхности лопаток сушильного барабана и на поверхности мелких частиц угля.

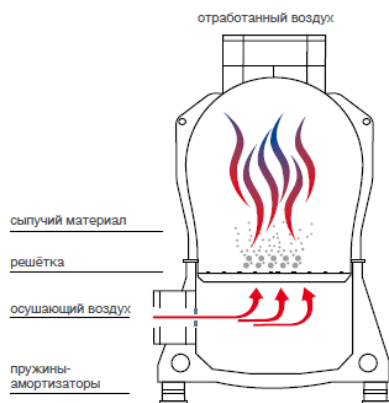
Быстрое изменение уровня температуры газов отходящих после сушки (см. рис. 5) от нормального режима до режима перегрева и воспламенения угля может составлять всего около 50 °C. Оператор не успевает реагировать, часто не имеет оперативных средств для быстрого регулирования. При этом температура пересушенного угля в середине сушильного барабана уже превышает нормальный уровень на 150-200 °C.

Е. После этого процессы развиваются очень быстро. В сушильном аппарате возникает мощный внутренний источник выделения тепла – горящий высушенный уголь (количество угля в аппарате 20-30 тонн). Этот источник тепла превышает по мощности топочное устройство в несколько раз (топка потребляет около 5 тонн угля в час) . Весь находящийся в аппарате уголь быстро высушивается и загорается, возникает пожар / взрыв.

Для борьбы с возникшим возгоранием, в соответствии с нормами проектирования, за сушильным аппаратом при сушке угля должна быть предусмотрена разгрузочная камера с объёмом, позволяющим выгрузить из барабана весь возгоревшийся уголь, для выполнения пожаротушения, не передавая уголь для дальнейшей транспортировки. При производительности 100 т/час вес выгружаемого угля составляет до 30 тонн, объём камеры для тушения составляет около 50м<sup>3</sup> (насыпная плотность высушенного угля 0,6-0,7 т/м<sup>3</sup>). Камера разгрузки и тушения угля должна выполняться во взрыво-/ пожаро- защищенном исполнении.

По описанным выше причинам изготовители сушильных барабанов не хотят нести ответственность за процесс сушки в стандартных вращающихся барабанах твёрдых органических топлив и пишут – «...предназначены для удаления влаги (сушки) невзрывоопасных, непожароопасных, нетоксичных сыпучих материалов...», то есть не для угля.

## 2. Сушилки вибро- кипящего слоя.



Сушилки вибро-кипящего слоя, как и сушильные барабаны, являются аппаратами с длинной камерой сушки при соотношении ширина : длина около 1 : 6 (8).

Рассмотренные выше процессы возгорания угля могут происходить в сушилках вибро-кипящего слоя, по такому же сценарию. При этом есть следующие отличия.

- Аппарат вибро-кипящего слоя имеет сложную геометрию. Конструкция сушильной камеры, в отличие от цилиндрического сушильного барабана не рассчитана на давление взрыва.



Рис. 6. Сушилка вибро-кипящего слоя (по материалам Fa. Binder)

- Сушильная камера показанной выше конструкции разделена на подвижное вибрирующее дно и верхнюю осадительную и или газосборную камеру, установленную на стационарных опорах. Соединение между камерами

выполнено в виде эластичного тканевого компенсатора со сторонами, например, около 3м x 18м для аппаратов большой производительности.

- Подвод горячего воздуха выполняется в вибрирующую нижнюю камеру, ниже газораспределительной решётки, через 6-10 подводящих патрубков диаметром около 400 мм, через эластичные тканевые компенсаторы.

Рис.7. Подвод горячих газов к сушилке вибро-кипящего слоя (по материалам Fa. Binder)

Отвод отработанных газов после сушки выполнен через один или несколько патрубков, также соединяемых с аппаратом через тканевые компенсаторы.



Использование в конструкции сушилок вибро-кипящего слоя множества тканевых компенсаторов обуславливает потерю аппаратом газоплотности даже от минимального давления при взрыве.

По этой причине сушильная камера не оборудована взрывными клапанами, так как эластичные уплотнения «срабатывают» раньше чем взрывные клапаны.

- Температуры горячего воздуха (газа) для сушилок вибро-кипящего слоя принимаются на уровне 350 – 400 °С, ограничены температурной стойкостью внутренней вибрирующей газораспределительной решётки и ещё в большей степени стойкостью эластичных тканевых компенсаторов. Использование в сушилках вибро-кипящего слоя сравнительно низких, по сравнению с сушильными барабанами температур горячих газов снижает тепловую эффективность этих аппаратов, повышает пропорционально повышает объём отходящих газов на систему газоочистки и дымосос. Это обуславливает высокие капитальные затраты при приобретении оборудования газоочистки и высокие расходы электроэнергии на транспортировку газов при эксплуатации.
- Низкие температуры теплоносителя – горячих газов, затрудняют обеспечение самоинертизации сушильной системы за счёт всем хорошо известного метода - возврата части отработанных газов на подмес к продуктам сгорания топлива.
- Продолжительность сушки в аппаратах вибро-кипящего слоя составляет 5-10 минут. Во время первичного заполнения толщина слоя материала на решетке увеличивается. При производительности 100 т/час по высушенному продукту, на решетке сушилок вибро-кипящего слоя находится 5-10 тонн угля. Необходимый объём камеры пожаротушения для выгрузки возгоревшегося угля составляет 10-15 м<sup>3</sup>. Камера разгрузки и тушения угля должна выполняться во взрыво/пожаро защищенном исполнении.

Несмотря на сложность адаптации сушилок вибро - кипящего слоя для условий безопасной сушки угля в части обеспечения прочностных показателей и газоплотности аппарата, возгорания в них происходят реже, чем в сушильных барабанах. Объясняется это следующими факторами:

- а) пониженная температура горячих газов, при сопутствующем снижении тепловой эффективности аппарата;
- б) использование в основном для кускового угля; сушка угля мелких классов повышает опасность возгораний/взрывов;
- с) сушилки вибро- кипящего слоя разработаны сравнительно недавно и в комплексе с ними используются более современные генераторы горячих газов;
- д) как правило, в установках с сушилками вибро-кипящего слоя используется метод самоинертизации установки путём возврата части отходящих газов, имеющих пониженное содержание кислорода. Это снижает общий уровень кислорода в объёме аппарата, повышает пожаро-/взрывобезопасность установок.

Изготавливаются также сушилки вибро-кипящего слоя в конструкции которых вопросам взрывобезопасности уделено большее внимание. В этих сушилках нет эластичного компенсатора между вибрирующим дном и верхней камерой. Это повышает газоплотность аппарата и его безопасность.

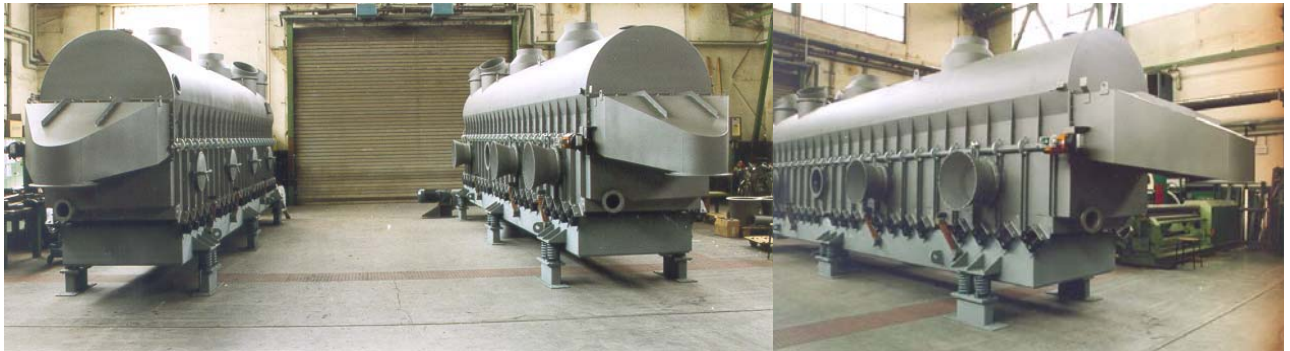


Рис 8. Сушилки вибро-кипящего слоя (по материалам Fa. Allgaier)

### **3. Сушка угля с использованием промышленных микроволновых излучателей**

Использование микроволновых излучателей позволяет осуществлять безопасную и высокоэффективную сушку углей. Отсутствует оборудование для сжигания топлива, оборудование для пылеулавливания небольшое, небольшие дымососы и т.п. За счёт 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 не высоки, ниже, чем на описанные выше контактные конвективные сушилки. Всё хорошо с точки зрения техники безопасности.

Одно только не идеально: стоимость электроэнергии для сушки с использованием микроволнового излучения значительно выше стоимости первичного топлива, используемого для получения горячих газов в установках конвективной контактной сушки, например в сушильных барабанах или сушилках вибро-кипящего слоя.

Выполним сравнительный расчёт. Нужно высушить уголь с 14,5% до 7,5%.



### Конвективная сушка со сжиганием угля:

Конвективная сушилка с температурой горячих газов 700°C, температурой отходящих газов 100°C, с учётом потерь тепла через поверхность и недожог топлива имеет тепловой КПД около 82%. На испарение одной тонны влаги тратится 1,32 МВт тепловой энергии, или 206 кг угля на тонну испарённой влаги.

На получение одной тонны высушенного угля требуется 0,117 МВт тепла. Расход топлива с калорийностью 5730 ккал/кг составляет 16,75 кг на тонну высушенного угля. При стоимости угля 1200 руб./т, стоимость сушки одной тонны угля составляет 20 рублей.

Стоимость испарения из угля одной тонны влаги составляет 247 рублей.

### Микроволновая сушка угля:

При микроволновой сушке тепловая эффективность процесса около 90%. Соответственно на испарение одной тонны влаги потребуется 1,2 МВт электрической энергии. На получение одной тонны высушенного угля потребуется 0,107 МВт электрической энергии.

При стоимости электроэнергии 0,06 долл./кВт.час = 1,8 рублей/кВт.час = 1800 руб/МВт. (это минимально возможная расценка в РФ?)

Стоимость испарения из угля одной тонны воды составляет 2160 рублей, стоимость получения одной тонны подсушенного угля составляет 192 рубля – это в среднем в 8-9 раз больше чем при конвективной термической сушке.

Приведённые выше сравнительные расчёты производственных затрат объясняют почему микроволновая сушка угля не применяется на сушильных установках.

### 3.1. Усадка угля при сушке.

Отличия имеются также в поведении угля при сушке.

При микроволновой сушке образование пара происходит внутри кусочков угля и пар разрывает поры угля, делая высушенный уголь более пористым и лёгким. Уменьшается удельная плотность, высушенный уголь занимает больше места при транспортировке, повышаются затраты при транспортировке. Также, за счёт разрыва частиц угля паром, 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, ведёт к снижению транспортных расходов. Процесс «внутренней 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 ведёт к снижению транспортных расходов.

#### 4. Вертикальные трубные сушилки

В отличие от описанных выше аппаратов трубные сушилки устанавливаются вертикально и материал высушивается в восходящем потоке горячих газов. 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. Легко поддерживается содержание кислорода менее 9% в сушильной камере, нужное при сушке угля. Это позволяет сушить в вертикальной трубной сушилке угли с любым содержанием летучих, например бурые угли с содержанием летучих до 45%. Вертикальные трубные сушилки широко применяют при производстве древесно-стружечных плит для сушки древесной стружки и опилок с содержанием летучих 80-85%.

Высушиваемый материал находится в вертикальной сушилке аппарате несколько секунд. При производительности 100 т/ час по сухому продукту в объёме вертикальной трубной сушилки находится всего 100-200 кг угля. Это исключает трудности с накоплением и перегревом угля при аварийной остановке, например при исчезновении электропитания.

Вертикальные трубные сушилки имеют неподвижный цилиндрический корпус, хорошо выдерживающий давление взрыва. Аппарат можно сделать абсолютно взрыво/ и пожаро-безопасным.

История: Трубные сушилки были довольно широко распространены в 30-70 х годах в Англии и Германии и в 70-80х-годах в СССР 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 сочетается с использованием в составе сушильной установки, во всяком случае в СССР и сейчас в России, высокоинерционной кирпичной топки с подвижной решеткой для сжигания кускового угля.

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

Известны проблемы при сушке в вертикальных трубных сушилках углей тонких классов 0-0,5 мм и 0,5 – 2 мм, не удавалось сушить шламовые материалы. Это связано в основном с конструкцией забрасывающих устройств.

Современное состояние: Интерес производителей к трубным сушилкам повторно возник в 90-е годы, при сушке гранулированных металлургических шлаков

для производства шлако-цементов, а также для сушки древесных материалов при производстве древесно-стружечных плит.

Были отработаны новые конструктивные и схемные решения, которые избавили современные трубные сушилки от большинства указанных выше недостатков.



Конструкция аппарата получила принципиальные изменения:

- корпус трубной сушилки и элементы циклонов выполняются с защитой от абразивного износа – керамика, каменное литьё, специальные обмазки. Срок службы абразивной защиты – до 10-15 лет.

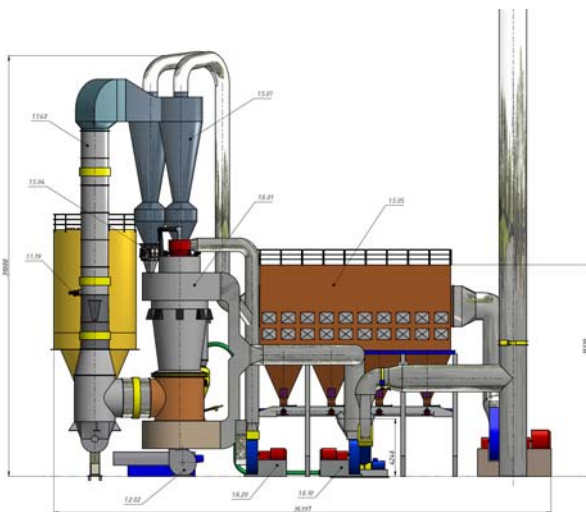
Не требуется больше использовать нержавеющую сталь при изготовлении;

Рис.9. Против абразивная защита корпуса вертикальной трубной сушилки



- разработаны современные забрасыватели угля для работы с материалами 0-13 мм, 0-0,5 мм, 0,5 -2 мм и для угольных шламов, для материалов 0-0,05 мм;
- в комплекте сушильной установки используются малоинерционные генераторы горячих газов, камера сгорания которых выполнена без огнеупорной обмуровки для работы при температуре горячих газов 700 – 900 °С.

Рис.10. Генератор горячих газов работающий на угольной пыли.



Технологический комплекс на основе вертикальной трубной сушилки, с мало инерционным генератором горячих газов, работающим на угольной пыли, и сухой системой газоочистки обеспечивает безопасную сушку угля, в том числе для углей с высоким содержанием летучих.

Рис.11. Установка вертикальной трубной сушилки с генератором горячих газов и сухой системой газоочистки.

Часть угольной пыли, отбираемой из рукавных фильтров перед дымососом идет на сжигание в генератор горячих газов. Таким образом установка сама снабжает

себя топливом.

- Возможно использование углей отличных по марке от высушиваемого угля для приготовления пылеугольного топлива для генератора горячих газов.

- Возможно использование вертикальных трубных сушилок для подсушки кускового угля крупности около 20 мм и более, по аналогии с устройством подсушки угля на тепловых станциях, но более интенсивно, с организацией противотока материала и горячих газов, при рецикле части кускового материала, выводимого из трубы сушилки снизу.
- Возможно использование вертикальных трубных сушилок для сушки жидких продуктов, подаваемых через форсунку – распылитель, например угольных шламов.

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

## 5. 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. При этом сушильный аппарат выполняет роль конденсатора пара. Образующийся конденсат возвращается в систему водоподготовки энергетического котла. Такое решение повышает суммарный тепловой КПД котла, позволяет вести сушку используя «бесплатную» тепловую энергию. На установках с паровой сушкой хорошо решаются также вопросы взрыво-пожаробезопасности.

Практически применяются сушилки кипящего слоя для мелкокускового угля, в камере сушки которых установлены трубные змеевики, в которые подается пар. Практически применяются также вращающиеся сушильные барабаны с пересыпными полками обогреваемыми паром, подаваемым в трубные панели.



Рис. 11. Внутреннее устройство барабанной паровой сушилки (по материалам Fa.Buttner)

Стоимость сушильных установок с использованием отработанного дарованного пара превышает стоимость аналогичных конвективных сушилок, описанных выше примерно в три раза. Но при использовании в схеме тепловой станции эти установки имеют безусловное преимущество – «бесплатный» источник тепла и поэтому применяются.

Без тепловой станции, на углеобогатительных 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.

## 6. Сушка угля совмещённая с помолом

Основная масса добываемого угля сжигается в энергетических котлах. Перед сжиганием уголь измельчают примерно до 90-120 микрон и полученную пыль подуют на сжигание.

Помол угля совмещают с сушкой. Основные аппараты: шаровая мельница, стержневая мельница, молотковая мельница, валковая мельница. Для сушки используют отходящие после котла горячие газы с температурой 250-300°C. Содержание кислорода в отходящих газах около 7-8%, что обеспечивает безопасное ведение процесса помола и сушки.

Основной метод безопасной сушки - ведение процесса при пониженном содержании кислорода отработан именно на сушильно-помольных установках тепловых станций.

При сушке угля на углеобогащительных фабриках совмещённые сушка-помол угля могут применяться для приготовления пылеугольного топлива для сушильных установок.

## 7. Сравнение конвективных сушилок

Сравнение конвективных сушилок с прямым контактом между горячими газами и влажным материалом приведено в Таблице 1.

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

| Параметры процесса   | Единицы измерения                        | Вертикальная трубная сушилка | Сушилка кипящего слоя | Сушильный барабан* |
|--|--|------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Температура горячих газов  | °С                                       | 700-800                      | 250-350               | 400-500            |
| Температура уходящих газов   | °С                                       | 90-100                       | 90-100                | 90-100             |
| Количество испаряемой влаги  | кг/час                                   | 18,64                        | 18,64                 | 18,64              |
| Испарение влаги в 1 м <sup>3</sup> внутреннего объёма сушильной камеры | кг/м <sup>3</sup>                        | 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. Н <sub>2</sub> O                  | 1,21                         | 1,5                   | 1,49               |
| Количество уходящих газов  | м <sup>3</sup> /час                      | 153.000                      | 480.000               | 273.000            |
| Количество уходящих газов на тонну испаряемой влаги                    | нм <sup>3</sup> .час/т. Н <sub>2</sub> O | 8.200                        | 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      |
| Взрыво-/ пожаро- защищённость установки                                |  | высокая                      | низкая                | низкая             |
| Площадь размещения установки с учетом системы газоочистки,             | м х м                                    | 12 м х 30 м                  | 15 м х 80 м           | 15 м х 80 м        |

|   |         |                             |                          |                            |
|---|---------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| вентиляторов, дымососов и газоходов           |         |                             |                          |                            |
| Металлоемкость                                | тонн    | 70                          | 150                      | 190                        |
| Суммарная потребляемая электрическая мощность | кВт     | 635                         | 2150                     | 1390                       |
|   |         |                             |                          |                            |
| Сроки монтажа установки                       | месяцев | 2-3                         | 3-4                      | 4-5                        |
| Ремонтные работы                              |         | 1 раз в 4 года<br>7-10 дней | 1 раз в год<br>7-14 дней | 1 раз в году<br>7 -14 дней |

Таблица 1 позволяет сравнить не только удельные расходы топлива и электроэнергии на сушку, но и объёмы строительно - монтажных работ, например на строительство сушильного отделения из 4-х установок производительностью 125 т/ч x 4= 500 тонн/час, для обогатительной фабрики производительностью 3.000.000 тонн/год.

## Заключение

Основой безопасной организации сушки угля являются:

1. Пониженное содержание кислорода внутри сушильного аппарата. При конвективной сушке должен применяться метод самоинертизации установки – за счёт возврата в установку части отходящих газов.
2. Максимально допустимое содержание кислорода (около 9%) и другие показатели пожаро-взрывоопасности угля должны определяться индивидуально для каждой марки угля, подаваемого на сушку. На основе этих показателей разрабатывается сушильная установка.
3. Обеспечение равномерной загрузки аппарата влажным углём с постоянным контролем загрузки и влажности.
4. Использование малоинерционных генераторов горячих газов, обеспечивающих точное и быстрое регулирование процесса сушки.
5. Обеспечение пожаро - взрывобезопасности сушильного аппарата на основе выбора оптимальной конструкции или конструктивной адаптации аппарата для сушки горючих материалов путем повышения прочности аппарата, обеспечение герметичности, сокращения присосов атмосферного воздуха, оснащения аппарата и системы газоочистки предохранительными взрывными клапанами, а также разгрузочной камерой достаточного объёма для тушения возгоревшегося угля.
6. На основе приведённого выше анализа, по совокупности качеств и показателей наиболее эффективными аппаратами для сушки мелких углей и шламов представляются вертикальные трубные сушилки при одновременном использовании малоинерционных генераторов горячих газов, работающих при сжигании угольной пыли.

Вертикальные трубные сушилки обеспечивают:

- 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 и угольных шламов.

Технологические линии с вертикальными трубными сушилками рассчитаны на работу 350 дней в году по 24 часа в сутки, то есть на 8400 часов, а не на 6000 часов как углеобогатительная фабрика. Это позволяет, при наличии перед сушильным отделением промежуточного склада влажного угля, сократить число сушильных аппаратов. Это позволяет, наряду с сушкой основного продукта, использовать эти установки для сушки угольных шламов в периоды профилактической остановки обогатительной фабрики.