

## Обзор взрыво-пожароопасности термической сушки углей

Сушка углей или других горючих материалов принципиально отличается от сушки негорючих материалов, например концентратов руд, металлов, известняка, глины и тп. Суть различия не в характере процесса сушки, тут отличий нет или они незначительны.

Особенность организации процесса сушки горючих материалов в следующем:

А. подача в сушильный аппарат горячих газов с температурой выше (или значительно выше) температуры воспламенения горючего вещества.

Б. размер частиц высушиваемого горючего материала часто (в особенности при сушке шламов) является оптимальным для горения угольной пыли в воздухе, поддержания горения, распространения взрыва.

В. температура высушиваемого материала при снижении влажности возрастает: подъем температуры до 70-90 °С  
постоянная температура материала (60-90°С) при испарении свободной влаги  
второй подъем температуры после испарения свободной влаги.

Г. количество высушиваемого горючего материала в сушильном аппарате примерно в 40-50 раз больше, чем подача топлива на сушку. Газоходы для продуктов сгорания топлива, газоходы для отходящих газов от сушильного аппарата не рассчитаны на пропуск такого количества газов = продуктов сгорания или взрыва от воспламенения высушиваемого горючего материала.

Д. Пункт Г. вызывает повышение внутреннего давления в сушильном аппарате. Максимальное давление взрыва пыле-воздушной смеси определяется в лаборатории. Расчетная оценка возникающего давления основана на использовании факта что температура продуктов сгорания углеводородов примерно одинакова =2000-2100°С. Объем продуктов сгорания возрастает при такой температуре в 8,5 -11,5 раз считая от объема при температуре 0°С. Чтобы удержать газы от такого расширения необходимо пропорционально повысить давление. Компенсирующее давление соответственно в 8,5-11,5 раз больше, чем первоначальное давление в сушильном аппарате.

Е. Если первоначальное давление равно 1 бар, то давление возникающее при взрыве соответственно равно максимально = 8,5 -11,5 бар. На такое давление ни сушильный аппарат, ни система газоочистки не рассчитаны. Возникает опасность разрушения этих аппаратов и попадания горящего высушиваемого материала, высокотемпературных газообразных и твердых продуктов сгорания в помещение Корпуса сушки.

Ж. Для предотвращения разрушения сушильного аппарата, аппаратов и газоходов системы газоочистки на этих аппаратах устанавливаются ВПК – взрывные предохранительные клапаны, которые выдерживают меньшее давление, чем основной аппарат и открываются (разрыв мембраны или открытие клапана) раньше, чем разрушится основной аппарат.

З. Срабатывание ВПК сопровождается процессами

- выбросом высокотемпературных газов в окружающее пространство
- возникновение на выходе из ВПК струи горячих газов с высоким давлением по оси
- разгерметизация основного аппарата (при использовании разрывных мембран)

- засасывание в разгерметизированный аппарат через газоходы ВПК окружающего воздуха, что создает условия для продолжения горения горючих высушиваемых продуктов в аппарате.

Для обеспечения безопасности процессов сушки разработаны нормативные материалы,

1. **Нормы** описывающие опасные процессы и материалы:

### **Приложение 19. Выборка из Положения о пылегазовом режиме на УОФ**

Приложение N 2. Свойства пылевоздушных смесей и газов

«В трактах сушильных установок, особенно в периоды плановой и аварийной остановок, могут происходить оседание и тление угольной пыли.

При повторном запуске сушильной установки может произойти ее взметание и при определенных условиях (**сверхнормативном содержании кислорода в сушильном агенте**) может произойти образование **детонационной (взрывной) волны** в тракте сушильной установки.

Угольная пыль, взвешенная в воздухе, представляет взрывоопасную смесь.

Взрываемость угольной пылевоздушной смеси зависит от марки угля, выхода летучих веществ, крупности угольной пыли, ее концентрации в воздухе, наличия кислорода в смеси, температуры воспламенения.

**Наиболее взрывоопасной является угольная пыль крупностью 0,07-0,1 мм.** Более тонкая пыль менее опасна, так как имеет огромную удельную поверхность, которая окисляется в воздухе до начала наступления взрыва, а частично окисленная пыль не может создать сильного взрыва.

Основной причиной взрыва угольной пыли является наличие очага горения вследствие самовозгорания угольной пыли.

Критериями взрывчатости угольной пыли являются **нижний предел концентрации взвешенной угольной пыли** и норма негорючих веществ в осланцованной угольной пыли.

За нижний предел взрывчатости взвешенной угольной пыли принимается минимальная концентрация пыли (г/м<sup>3</sup>) в пылевоздушной смеси, при которой она способна воспламениться от внешнего источника тепловой энергии и распространять горение по всему запыленному объему.»

### **Приложение 18. Содержание топливной составляющей в сухой газоочистке за сушильной линией**

**Таблица 1. Гранулометрический состав угольного концентрата после сушки**

Количество фракций, номинальный режим		т/час
Подсушенный концентрат угля после сушки,	100%	168,42
1-2 мм	20%	33,684
0,5-1 мм	15%	25,263
0,25-0,5 мм	10%	16,842
0,1-0,25 мм	15%	25,263
<b>0,045 -0,1 мм</b>	<b>20%</b>	<b>33,684</b>
<b>0,0-0,045%</b>	<b>20%</b>	<b>33,684</b>

Таблица 1 показывает что доля наиболее взрывоопасной пыли в высушенном концентрате составляет не менее 50%.

2. **Нормы** описывающие методы определения характеристик опасных материалов и производственных ситуаций

**Приложение 23 ГОСТ 12.1.044-2018 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения**

Таблица 2 (5.1)— Показатели, характеризующие вещество (материал) как обладателя определенных индивидуальных пожаро- и взрывоопасных свойств (первая группа)					
Показатели пожарной опасности	Единица измерения	Вещества и материалы в различном агрегатном состоянии			Пыли
		Газообразные	жидкие	твердые	
Группа горючести + + + +		+	+	+	+
Максимальное давление взрыва	Па	+	+	-	+
Максимальная скорость нарастания давления взрыва	Па/с	+	+	-	+
Линейная скорость распространения пламени	м/с	-	-	+	-
Нормальная скорость распространения пламени	м/с	+	+	-	+
Температура воспламенения	°С	-	+	+	+
Температура вспышки	°С	-	+	-	-
Температура самовоспламенения	°С	+	+	+	+
Температура тления	°С	-	-	+	+
Температурные пределы распространения пламени (воспламенения)	°С	-	+	-	-
Теплота сгорания	МДж/кг	+	+	+	+
Коэффициент дымообразования	м <sup>2</sup> /кг	-	-	+	-
Показатель токсичности продуктов горения полимерных материалов		-	-	+	-

ГОСТ 12.1.044-2018 свежий, введен в действие 01.05.2019 года, показывает, какие показатели пылей (угольных пылей) нужно знать для уверенного ведения разработки процесса сушки.

К сожалению ГОСТ 12.1.044-2018 **не предусматривает** определения важнейшей характеристики взвешенной угольной пыли = **максимальное содержание кислорода в газах пылевоздушной смеси, когда взрыв не будет происходить**. Этот показатель в настоящее время можно определить в немецких лабораториях по взрыво-пожаро-опасности.

В промышленности переработки углеродсодержащих материалов (углей) существует по меньшей мере один освоенный промышленностью процесс, который более опасен, чем сушка угольных шламов и кеков. Это приготовление угольной пыли для промышленных горелок или горелок на пылеугольных энергетических котлах.

В угольных мельницах в одном объёме совмещены процесс сушки угля до влажности примерно 0,5 гигроскопической влажности (ниже содержания свободной влаги) и процесс помола угля до наиболее опасного уровня крупности частиц = 0,05 -0,1 мм. Кроме того подсушенный уголь многократно (около 10 раз) циркулирует между помольной зоной и воздушным сепаратором, в котором мелкие частицы отделяются от крупных.

Производительность угольных мельниц достигает 350 тонн угля/ час. При этом на многих сотнях угольных мельниц, установленных в Европе за последние 50 лет не было случаев взрывов и возгораний. Причиной такого высокого уровня безопасной работы является реализуемый в угольных мельницах процесс самоинертизации = снижения содержания кислорода путем рециркуляции отходящих газов, отбираемых после газоочистки.

Лабораторными исследованиями определяется граничное содержание кислорода в газах при котором взрыв пылевоздушной смеси не происходит. От этого значения минус 1% на разницу лабораторных и промышленных условий, минус 1% = предупредительный сигнал, минус 1 % = аварийный сигнал, минус 1% = автоматическое отключение установки.

Каролайна Инжиниринг реализует процесс самоинертизации, освоенный на более опасном процессе сушки-помолу угля, для обеспечения безопасности на сушильных установках.

### 3. Нормы описывающие Правила технологического проектирования на УОФ.

#### Приложение 24. Выборка из СП 12.13130.2009 Определение опасности помещений. Расчет избыточного давления

Таблица .3 Расчет избыточного давления взрыва для горючих пылей

Избыточное давление $dP = \frac{(m \cdot H \cdot P \cdot Z)}{(V \cdot \rho \cdot C \cdot T \cdot Kh)}$	кПа	14,94
Свободный Объем помещения	V, м <sup>3</sup>	6720
Негерметичность помещения (допускается =3)	Кн	1
Теплота сгорания	H, Дж/кг	30499,4
Плотность воздуха в норм условиях	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1,293
Теплоемкость воздуха	C, Дж*/кг*К	1010
Начальная температура воздуха	To, град К	288
Начальное давление	кПа	101
Коэффициент участия пыли в горении	Z	0,4
Массовая доля частиц с размером менее критического	F	0,8
Масса пыли в помещении	m, kg	30645
Масса взвихрившейся пыли	m1, kg	45
Стехиометрическая концентрация пыли с воздухом	kg/м <sup>3</sup>	
Расчетный объем пылевого облака при аварии	м <sup>3</sup>	
Коэффициент взвихривания	Квз	0,9

Масса отложившейся пыли	Мп, кг	50
Масса пыли поступившей при аварии	m2, kg	30600
Масса выбрасываемой пыли	кг	30000
Масса поступления новой пыли	кг/с	20
Время до отключения	сек	30
Коэффициент пыления $K_p=1$ для пылей менее 350 мкм		1

**Приложение 20. Выборка из ВНТП 3-92 технологического проектирования УОФ**  
**Приложение 21. Выборки из ПБ при обогащении и брикетировании углей номер 487 от 20.11.2017 год**  
**Приложение 22. ГОСТ Р МЭК 61241.10.2007 Электрооборудование для зон опасных по воспламенению угольной пыли.**

Последний ГОСТ хорошо иллюстрирует расположение зон опасности в технологическом оборудовании и системе газоочистки.

Расчет и проектирование сушильных установок выполнялся с использованием указанных выше нормативных материалов.

Нормативные материалы построены на советском опыте строительства и эксплуатации установок для сушки угля. Опыт этот не самый привлекательный, было много случаев возгораний, которые по причине большого количества горючего материала в сушильном аппарате (в основном сушильные барабаны) приводили к серьезному экономическому ущербу для угледобывающих предприятий. По этой причине, после начала поступления на рынок нового обогатительного оборудования и технологий, в том числе для механического обезвоживания, сложилась иллюзия, что от опасной и дорогой по капитальным затратам технологии термической сушки угля можно отказаться.

Новые обогатительные фабрики строились без Корпуса Сушки. После внедрения в Варкуте в 90х годах сушильных комплексов на основе вертикальных трубных сушилок разработки ИОТТ, сушильные линии для угля в течение почти 35 лет не строились.

В период «безсушильной паузы» сложилось ясное понимание о уровне потерь товарного продукта и технологических трудностях, сопутствующих обогащению углей без окончательной операции по термической сушке мелкодисперсных шламов и кеков. Потери составляют примерно 10% от общего выпуска товарной продукции, в лучшем случае.

Возвращение к проектированию сушильных установок Россия встречает в условиях старых советских норм и методик, отсутствия литературы по сушке, недостатке специалистов, владеющих современными процессами.

Действующие нормы нельзя назвать неразумными или неправильными, так как они написаны на основе горького опыта сгоревших сушильных установок. Основное внимание российские нормы по ТБ уделяют созданию условий для нераспространения возникшего возгорания (разделение помещения на отсеки =топочный, сушильный, газоочистки, отключающие клапаны, разделяющие блоки оборудования, подача пара, распыленной воды, ВПК и тп.). О условиях и технических решениях обеспечивающих невозможность возникновения возгорания угля в сушильном аппарате в действующих нормах не сказано почти ничего.

**В ГОСТ 12.1.044-2018 ПОжаровзрывоопасность веществ и материалов.**  
**Номенклатура показателей и методы их определения** отсутствует методика определения безопасного содержания кислорода в пылевоздушной смеси конкретного угля, обеспечивающая безопасную сушку = невозможность воспламенения и

возникновения взрыва. Специализированные лаборатории, отвечающие за Определение показателей пожаро-взрывоопасности пылей конкретных углей такой анализ не выполняют. Проектировщикам приходится пользоваться указаниями **ПБ при обогащении и брикетировании углей номер 487 от 20.11.2017 год** в которых указаны общие для всех углей безопасные концентрации кислорода в газах при термической сушке, которые часто превышают безопасный уровень в 1,2 -1,5 раз. Нет указаний о технических решениях по достижению низкого безопасного уровня содержания кислорода в газах в конкретных технологических аппаратах.

Технология самоинертизации = снижения содержания кислорода в сушильных установках до безопасного уровня в России не освоена, в большинстве случаев неизвестна не только при сушке угля, но и при более опасном процессе приготовления угольной пыли для энергетических котлов. При помоле угольной пыли для энергетических котлов используется в основном метод прямого вдувания полученной ПУТ в горелки, без накопления. Это снижает опасность процесса приготовления ПУТ.

При сушке кеков и угольных шламов подсушенный мелкодисперсный продукт необходимо охлаждать, накапливать на складе до отгрузки. Это увеличивает сложность обеспечения безопасности процессов, особенно при высоком содержании летучих в угле.

По опыту установок приготовления ПУТ с накоплением необходимо поддерживать температуру подсушенных мелких угольных продуктов на уровне менее 60 °С. Наиболее экономически выгодно снижать температуру подсушенного мелкого угля путем смешения с холодным кусковым углем.

Теоретически возможна загрузка угля на конвейерный транспортер в несколько слоев, усреднение при пересыпках. Этот прием последние несколько лет предлагает Каролайна Инжиниринг в своих проектах сушильных установок. Однако этот прием, несмотря на свою внешнюю простоту нигде не исследовался в части эффективности смешения, ликвидации слоев нагретого выше 60 °С мелкодисперсного сухого угля. Не исключено, что более безопасным является использование специальных смесителей с непрерывной загрузкой и выгрузкой основательно перемешанного угля.

Выше коротко дана характеристика процесса термической сушки которому посвящено технологические проектирование, с указанием общих особенностей технологии и ТБ на которые должно быть обращено внимание при проектировании. Каждый технологический аппарат сушильной линии имеет также свои особенности и свои условия безопасной работы.