

УДК 621.742.52

**Н. В. Ямшанова, О. В. Матюхин**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СУШКИ УГЛЯ МАРКИ "Д"**

### **Аннотация**

*В установку для сушки угля марки «Д» следует включить сушильный барабан, топку для сжигания жидкого топлива, двухступенчатую систему газоочистки.*

*На основании данных лабораторных исследований кинетики тепловой обработки угля и тепловых расчетов показано, что барабанная сушилка БН 3,5х27 способна обеспечить завершенность процесса влагоудаления угля марки «Д».*

*Расход мазута для сушки угля в количестве 140 т/ч от 19 до 9 % составит 0,579 кг/с при тепловом КПД 78,87 %. Использование газа-рециркулянта позволяет снизить расход мазута до 0,483 кг/с, т.е. на 16,58 %.*

*Существующая конструкция топки способна обеспечить полное сжигание мазута без нарушения ее целостности. Произведен выбор вентилятора для подачи воздуха и отвода дымовых газов. Выбрано горелочное устройство для сжигания мазута в виде двух горелочных блоков конструкции Weishaupt типа WKMS 70/3 исполнение ZM.*

*Обоснована конструкция аспирационной разгрузочной камеры. Произведен расчет циклонной установки и рукавного фильтра для очистки отходящих газов. Предложено для улучшения показателей работы сушильного барабана использовать энергию акустического поля, формируемого непосредственно в его рабочем пространстве.*

**Ключевые слова:** *сушильный барабан, кинетика сушки, мазут, горелочное устройство, аспирационная система, циклонная установка, рукавный фильтр, акустическая система*

### **Abstract**

*In the installation for drying coal grade "D" should include a drying drum, a furnace for burning liquid fuel, a two-stage gas cleaning system.*

*Based on the data of laboratory studies of the kinetics of coal heat treatment and thermal calculations, it is shown that a drum dryer BN 3.5 × 27 is capable of ensuring the completion of the process of moisture depletion of "D" grade coal.*

*The fuel oil consumption for drying coal in the amount of 140 t / h from 19 to 9 % is 0.579 kg / s with a thermal efficiency of 78.87 %. The use of gas-recirculation makes it possible to reduce fuel oil consumption to 0.483 kg / s, ie by 16.58 %.*

*The present construction of the furnace is capable of ensuring complete combustion of fuel oil without disturbing its integrity. Produced fan selection for air supply and flue gas outlet. A burner has been chosen for burning fuel oil in the form of two Weishaupt burners of the WKMS 70/3 type ZM.*

*The design of the aspiration unloading chamber is justified. The calculation of a cyclone unit and a bag filter for purification of waste gases has been performed. It is proposed to use the energy of the acoustic field, formed directly in its working space, to improve the performance of the drying drum.*

**Key words:** *drying drum, kinetics of drying, fuel oil, burner device, aspiration system, cyclone unit, bag filter, acoustic system*

Получено задание произвести проверку и модернизацию оборудования сушильной установки Мундыбашской ОФ на возможность использования сушильного барабана для сушки угля марки Д от исходной влажности 19 % до 9 % производительностью 140 т/ч. При этом, по требованию Заказчика, необходимо максимально использовать существующее оборудование. В состав установки необходимо включить сушильный барабан, топку для сжигания жидкого топлива, двухступенчатую системы газоочистки.

Лабораторные исследования кинетики сушки в изоскоростных условиях повышения температуры позволили ограничить максимальную степень нагрева материалов для обеспечения безопасных условий конвективной сушки не выше 460 °С, а максимальную температуру газов не выше 650 °С.

На основании расчетных данных материального и теплового балансов был выполнен поверочный расчет применения сушильного барабана установленного размера. Было показано, что барабанная сушилка БНЗ,5х27НУ способна обеспечить завершенность процесса влагоудаления угля марки Д.

Применительно к выбранным условиям сушки угля был составлен тепловой баланс сушильного барабана. При использовании для формирования потока теплоносителя воздуха в количестве 1,817 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> расход мазута составит 0,579 кг/с, а тепловой КПД агрегата равен 78,87 %.

Применение же газа-рециркулята, отсасываемого из разгрузочной камеры в количестве 2,06 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, обеспечивает сокращение расхода мазута до 0,483 кг/с, т.е. на 16,58 %. При этом тепловой КПД агрегата увеличивается до 86,67 %, тепловая мощность печи возрастает на 9 %. Для реализации этого мероприятия необходимо предусмотреть установку дополнительного газохода диаметром около 1,35 м с тепловой изоляцией и циркуляционного вентилятора производительностью не менее 52 тыс. м<sup>3</sup>/ч.

В результате расчета статей теплового баланса сушильной печи определено, что расход мазута в сушильной печи составляет 0,579 кг/с, КПД – 78,87%. Максимальная температура, определяющая условия образования летучих, составляет 460 °С. Для обеспечения требуемых условий завершенности процесса удаления влаги из слоя угля максимальную температуру газа ограничиваем 650 °С при энтальпии 1080 кДж/м<sup>3</sup>. Максимальная температура отходящих газов на выходе из барабана сушилки может достигать 150 °С. В результате расчета определено, что данная конструкция барабана сможет удовлетворить условиям теплообмена между газами и материалами, для достижения требуемой сушки угля.

Далее была проведена проверка топki по теплонапряжению. Существующая конструкция топki имеет отдельно выделенную камеру распыления мазута (2) диаметром 1800 мм и длиной 1500 мм с объемом внутреннего пространства 3,82 м<sup>3</sup>, камеру горения мазута (3) диаметром 2300мм, длиной 3,5–1,5=2,0 м объемом 8,31 м<sup>3</sup>, разбавления продуктов сгорания атмосферным воздухом (4) диаметром 2300мм, длиной 7,2–3,5=3,7 м и объемом 15,37 м<sup>3</sup>, стабилизационный участок длины для выравнивания газового потока по температуре диаметром 2,3 м и длиной 1,4 м с объемом внутреннего пространства 5,82 м<sup>3</sup>. Общий объем рабочего пространства топki составляет 33,32 м<sup>3</sup>. В результате проверки было

определено, что тепловое напряжение рабочего пространства топки равно 709 кВт/м<sup>3</sup>, что является допустимым превышением в инженерных расчетах. Таким образом существующая конструкция топки остается неизменной.

Было проведено определение расхода жидкого топлива на основании данных теплового баланса. Значение расхода топлива составило 0,579 кг/с. Для того, чтобы снизить расход мазута необходимо применить рециркулята, то есть обеспечить разбавление продуктов сгорания холодным воздухом, при этом значение расхода топлива будет равно 0,483 кг/с, то есть на 16,58 % меньше.

Так же был проведен выбор вентилятора, дымососа и горелочного устройства. Вентилятор должен обеспечивать разбавление продуктов сгорания в количестве 54683,91 м<sup>3</sup>/ч. В результате расчетов было определено, что требуемый расход воздуха составляет 65869,89 м<sup>3</sup>/ч, а давление 2578 Па. По паспортным данным существующего вентилятора определено, что он обеспечит требуемый расход и давление. Дымосос должен обеспечивать общее количество транспортируемых газов через дымовой канал 151121 м<sup>3</sup>/ч. В результате расчетов выявлено, что необходимо увеличить диаметр дымового канала с 1400 мм до 1500 мм. Для выбора дымососа следует использовать установочный расход дымовых газов не менее 151121 м<sup>3</sup>/ч и давление 3374 Па. С учётом возможности использования форсированного режима работы сушильного барабана определено, что существующий дымосос способен обеспечить требуемый расход и давление.

Горелочное устройство, при общем расходе мазута 2090 кг/ч, имеет тепловую мощность около 2,3 кВт. Для реализации теплового потока предлагается использовать два горелочных блока конструкции Weishaupt типа WKMS 70/3 исполнение ZM. В состав горелочного блока входят:

- горелки жидкотопливные WKMS 70/3 исполнение ZM;
- компенсатор тканевый для WK70;
- вентилятор воздуха охлаждения RD 2 для охлаждения агрегата управления;
- встроенное оборудование с модулем аналоговым с регулятором мощности для W-FM 100 для WK40–WK80;
- вентиляторная станция №465 с расходом воздуха 17000 м<sup>3</sup>/ч и давлением до 80бар;
- шумопоглотитель для вентиляторной станции №465;
- станция насосная DLC–2600–S 2900 1/мин., 4,00кВт, 2575 л/ч, расход 985–1262 кг/ч с двумя насосами;
- комбинация запорная G–1 с предохранительным клапаном и концевым выключателем;
- комбинация запорная DN 50 с предохранительным клапаном и тефлоновым уплотнителем;
- станция предварительного подогрева жидкого топлива 3x WEV3;
- фильтр жидкотопливный типа AF 7131 M, S G1 (макс. 30 бар/ 6000 л/ч)
- шкаф управления горелкой WKMS.

Для того, чтобы при выгрузке высушенного угля на транспортерную ленту уменьшить потери транспортируемого продукта и улучшить условия работы обслуживающего персонала был произведен выбор аспирационной системы. Ширина ленты равна 1600 мм, высота разгрузочной части сушильного барабана от нижней образующей барабана до транспортерной ленты) составляет около 2,0м, угол наклона отбойного листа  $45^\circ$ . Была проведена сравнительная оценка различных типов аспирационных устройств, рассчитанные для использования транспортера шириной 1600 мм. Определено, что все рассмотренные конструкции аспирационных устройств позволяют обеспечивать концентрацию пылевидных компонентов в отводимом воздухе в пределах от 500 до 2000 мг/м<sup>3</sup>. Наименьшие показатели по запыленности обеспечивает аэродинамическое укрытие, позволяющее снизить концентрацию пыли более чем в четыре раза. При этом количество удаляемой пыли может изменяться от 1,2 до 10,15 кг/ч, а сами конструкции укрытий уже выполняют часть пылеосадительной функции с изменением коэффициента осаждения от 0 при обычном одинарном укрытии до 18,26 % на аэродинамическом. Использование эффективных аспирационных устройств обеспечивает существенный экономический эффект и позволяет исключить также просыпь угля и вторичное пылеобразование при разгрузке. При реализации технологии сушки угля считаем целесообразным установить аэродинамическое укрытие разгрузочной части печи.

Так же необходимо выбрать систему газоочистки. Выбор циклонной установки зависит от заданного расхода очищаемого газа, с учетом требуемых параметров, таких как физико-химические свойства газа, свойства и дисперсный состав пыли, требуемая степень очистки, габариты установки и др. Для предварительного расчета был выбран циклон ЦН–15. Количество одиночных циклонов в мультициклоне – 4 шт. Мультициклон должен обеспечить объем дымовых газов (рабочий объем) – 151121 м<sup>3</sup>/ч., температуру 150 °С. Тогда для одного циклона объем дымовых газов равен 10,5 м<sup>3</sup>/с. В результате расчета получено, что мультициклон подходит для заданных данных. Температура газов после мультициклона 135 градусов, степень очистки 58,151 %. По требованию заказчика, устанавливаемый мультициклон должен состоять из шести циклонов диаметром 900 мм каждый. Тогда, расход дымовых газов на один циклон составит 7 м<sup>3</sup>/с. В результате расчета получено, что при требованиях, заданных заказчиком, увеличится степень очистки с 58,091 % до 63 %. Установлено, что на существующем газоочистительном сооружении (два блока циклонов по 6 шт), можно обеспечить глубокую очистку газов от пыли.

Выбор рукавного фильтра производится исходя из расхода газа на н.у. (101 117,72 м<sup>3</sup>/ч) и температуры газов на входе в рукавный фильтр (135 °С). В результате расчета определено, что наиболее целесообразным является использование фильтра типа ФРО 4100–2 с количеством рукавов 432, 8 секций при высоте рукава 10м. Количество газов, проходящих через фильтр, составляет 151 121 м<sup>3</sup>/ч. При начальной концентрации пыли 13,3 г/м<sup>3</sup> концентрация пыли на выходе из фильтра составит не более 13,3 мг/м<sup>3</sup>. Температура отходящих из него газов не превысит 95–105 °С.

Для того, чтобы снизить пылевынос на технологических объектах, используя исходные материалы различной дисперсности и интенсифицировать тепломассообменные процессы при сушке угля, предлагается использование внутриагрегатного пылеосаждения на основе использования энергии акустического поля, формируемого непосредственно в рабочем пространстве. Формирование акустического поля в слое предлагается осуществлять при помощи акустического излучателя с применением волноводов различной конструкции, для которого характерен облегченный монтаж, обслуживание и эксплуатацию, безопасен для обслуживающего персонала и экологической обстановки.

Промышленные испытания использования энергии акустического поля для интенсификации тепломассообменных процессов на ряде технологических агрегатов показали широкие возможности применения этого способа. Было установлено, что при его использовании возможно увеличить производительность агрегата на величину до 15...30 %, повысить глубину протекания основных физико-химических реакций в слое, снизить вредные выбросы из агломашины ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ , пыль), уменьшить удельный расход топлива на процесс на 10...25 %. Внутрипечное осаждение пыли приводит к возрастанию выхода годного. Практика использования этого процесса на ряде объектов показала, что каждое место установки излучателя позволяет снизить поток пыли примерно на 20–25 % от исходного.

Использование энергии акустического поля в сушильном барабане предполагает установку акустических излучателей в торцевой стенке холодной головки печи с визированием оси излучения в нижнюю часть горячего конце барабана. При этом управление акустическим полем предлагается осуществлять изменением давления компрессорного воздуха в пределах от 2 до 5 атм. (устанавливается в режиме пуска наладочных работ). Общий расход компрессорного воздуха не превышает 50 м<sup>3</sup>/ч.

Ожидаемые результаты применения энергии акустического поля выражаются в снижении общего объема пылевыноса из рабочего пространства барабана на 20–25 % от существующего с увеличением выхода сухого продукта на эту величину. Кроме того, развитие периодических колебаний в нагреваемом слое способствует увеличению коэффициента теплоотдачи от газов к материалам, что позволит сократить время сушки в барабане на 3–5 минут с увеличением производительности установки на 12–20 %.

Были изучены особенности конвективной сушки угля, в результате которых определено, что общее время ограничивается в пределах 22–30 минут, в зависимости от степени заполнения барабана. Также отмечено, что при изменении условий удаления сушки и ее завершенности будет, происходит в последующем процесс насыщения высушенных материалов влагой окружающей среды. При этом возможно, что после определенной выдержки проба угля может адсорбировать влаги больше, чем ее было до первоначальной сушки. Таким образом, процесс сушки угля следует ограничивать по времени тепловой обработки не более 200 минут и завершенности процесса влагоудаления при содержании остаточной влажности не менее 7%.

Таким образом, для того, чтобы сушильная установка Мундыбашской ОФ обеспечивала условиям сушки угля марки Д необходимо оставить неизменными сушильный барабан, топку, вентилятор, дымосос, циклон так как они удовлетворяют требованиям технологического процесса. Предложено использовать два горелочных блока конструкции Weishaupt типа WKMS 70/3 исполнение ZM, установить аэродинамическое укрытие разгрузочной части печи для уменьшения потерь транспортируемого продукта. Для обеспечения газоочистки рекомендуется применять рукавный фильтр типа ФРО 4100–2 с количеством рукавов 432, 8 секций при высоте рукава 10 м. Для того чтобы уменьшить пылевынос предлагается использовать акустический излучатель с применением волноводов различной конструкции.

### **Список использованных источников**

1. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
2. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. Избранные труды. – М.: Наука, 1979. – 384 с.
3. Перегудов В.В., Роговой М.И. Тепловые процессы и установки в технологии строительных изделий и деталей: учебник. – М.: Стройиздат, 1983. – 416 с.