

УДК 66.047

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ БУРОГО УГЛЯ

Косарев Д.М., студент гр. ХТ<sub>Моз</sub>-151, II курс

Научный руководитель: Богомолов А.Р., д.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

В настоящее время бурый уголь в виде топлива, остается востребованным и находит широкое применение. Это объясняется оптимальным соотношением цены и качества данного вида топлива. Одним из важных показателей качества топлива является теплотворная способность. По основным характеристикам он уступает каменному углю, но благодаря таким необычным свойствам бурого угля, как легкое воспламенение, надежное поддержание горения при недостатке окислителя, он активно применяется в виде энергетического топлива и как химическое сырье. Топливное использование осуществляется в виде пылеугольного сжигания, а бытовое – кусковым горением. В меньших масштабах бурый уголь применяется для брикетирования и газификации в газогенераторных установках.

Один из крупнейших угольных бассейнов бурого угля России – Канско-Ачинский, который находится в Красноярском крае и частично захватывает северную часть Кемеровской и Иркутской области. Крупнейший разрез Кемеровской области – Итатский разрез, где добывают уголь марки Б1 и Б2.

Уникальность Итатского разреза в том, что он имеет большие запасы бурых углей – порядка 13 млрд. т, всего 50 метров вскрыши, отсутствие проблем с логистикой, так как у разреза есть собственный тупик, выход на Транссибирскую железнодорожную магистраль. Технологическая дорога разреза соединяется с трассой М 53. Важная составляющая преимущества Итатского угля, это конкурентная цена – менее тысячи рублей за тонну, тогда как цена сортового угля марки Д – 2200 рублей.

Одним из основных недостатков бурого угля Итатского разреза – высокое содержание материнской влаги до 40% (марка Б2), а в некоторых случаях влажность топлива может превышать 40% (марка Б1). Это обстоятельство ставит в затруднительное положение производителей при реализации добытого топлива, так как калорические характеристики не удовлетворяют требованиям большинства потребителей. Низшая теплота сгорания извлеченного бурого угля без дополнительной термической обработки не превышает 3200 ккал/кг (13,4 МДж/кг).

Процесс сушки может быть организован двумя способами: естественным путем на открытом пространстве в окружающей среде и принудительной сушкой с помощью сушильного агента, например, дымовыми газами с температурой до 300°C. Первый способ менее затратный, но продолжительный.

Кроме того, пребывая длительное время на открытом воздухе, бурый уголь, теряя влагу, растрескивается, превращаясь в мелочь. Основываясь на практическом опыте, целесообразно проводить сушку бурого угля в сушильных установках.

Выбор условий сушки дымовыми газами должен быть обоснован как по температуре сушильного агента, так и по содержанию кислорода в дымовых газах, которого не должно быть более 10%. Эти ограничения связаны с типичными средними значениями показателей технического анализа углей, например, для группы Б2. Проведен технический анализ бурого угля Итатского разреза, результаты которого представлены в табл. 1, и для сравнения даны средние значения показателей для бурых углей группы Б2.

Таблица 1

Значения показателей качества углей (технический анализ)\*

Технический анализ	Средние значения	Образец № 1	Образец № 2
$W^r$ , %	30-40	39,6	38,1
$A^d$ , %	7-45	15,9	15,8
$V^{daf}$ , %	44-56	55,3	52,4
$S_r^d$ , %	0,3-8,0	—	—

\*  $W^r$  – влага на рабочую массу;  $A^d$  – зольность в пересчете на сухое состояние угля;  $V^{daf}$  – выход летучих веществ, рассчитанный на сухое беззольное состояние угля;  $S_r^d$  – содержание общей серы на сухое состояние угля.

Если понизить влажность угля с применением термической сушки с 40% влажности до умеренной в 20-22%, то при таких параметрах бурый уголь можно использовать для сжигания в традиционных слоевых твердотопливных котлах или переработки термохимическим способом в жидкие углеводородные виды топлива.

Количество влаги, удаляемой из влажного материала от начальной влажности  $\omega_1$  до конечной влажности  $\omega_2$ , если будет задана влажность материала на общую массу, выражается формулой:

$$W = G_1 \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{1 - \omega_2} = G_2 \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{1 - \omega_1}, \quad (1)$$

где  $W$  – количество удаляемой влаги в единицу времени, кг/с;  $G_1$  – количество влажного материала, поступающего на сушку, кг/с;  $G_2$  – количество высушенного материала после удаления части влаги, кг/с.

При снижении влажности бурого угля с 40% до 20% количество влаги, удаляемой из 1кг влажного материала, составит 0,25 кг согласно уравнению (1). Удельный теоретический расход сушильного агента, воспринимаемого это количество влаги, можно определить по зависимости:

$$l = \frac{1}{x_1 - x_2}, \quad (2)$$

где  $x_1$  – начальное влагосодержание сушильного агента, кг *влаги*/кг *сухого воздуха*;  $x_2$  – конечное содержание влаги в сушильном агенте, кг *влаги*/кг *сухого воздуха*.

Из (2) видно, что теоретический расход сушильного агента при  $x_2 = 40 \cdot 10^{-3}$  кг *влаги*/кг *сухого воздуха* и  $x_1 = 15 \cdot 10^{-3}$  кг *влаги*/кг *сухого воздуха* на удаление 1 кг *влаги* составит 40 кг *сухого воздуха*.

При производительности сушильной установки 0,1 кг/с (8,6 т/ч) по влажному материалу с начальной влажностью 40% до конечной влажности 20% удельный теоретический расход сушильного агента должен составлять, на основании уравнений (1) и (2), не менее 40 кг/с или 2400 кг/мин (144 тыс. кг/ч). С учетом принятых условий сушки, в частности, что температура дымовых газов на входе в сушильную установку равна 300°C, плотность их составит 0,61 кг/м<sup>3</sup>. Тогда теоретический объемный расход дымовых газов на сушку 8,6 т/ч будет равен 236 тыс. м<sup>3</sup>/ч.

Потенциальными потребителями бурого угля с рабочей (низшей) теплотой сгорания выше 5000 ккал/кг являются не только Российские предприятия, но и зарубежные, в первую очередь, динамично развивающиеся страны, в частности, Китай.

Настоящая работа посвящена исследованию технических характеристик исходного бурого угля (данные предоставлены выше) и изучению статистики и динамики процесса сушки.

Цель работы – установление временных зависимостей процесса сушки при постоянном температурном потенциале сушильного агента для различного гранулометрического состава бурого угля.

В работе использовали бурый уголь марки от Б1 до Б2 Итатского разреза с размером частиц (гранулята)  $\delta$ : 0,0–1,0 мм; 1,0–1,6 мм; 4,0–5,0 мм; 20,0–25,0 мм и 30,0–40,0 мм с исходной влажностью  $W = 38,1 - 43,9\%$ . Сушку материала осуществляли в сушильном электрошкафу типа СНОЛ – 3,5/3,5-И4М с принудительной циркуляцией сушильного агента – воздуха – при температуре 150°C. Температура сушильного агента выбрана из условий исключения выделения летучих компонентов в процессе сушки для предотвращения возгорания бурого угля при достижении его влажности менее 7%.

Методика проведения исследований процесса сушки осуществлялась следующим образом.

Навески БУ помещали в стеклянные бюксы с крышками (11 шт.), после чего, бюксы ставили в сушильный шкаф, предварительно прогретый до температуры 150°C. После 5-ти минутного интервала вынимался один бюкс. Заключительный бюкс выдерживался 120 минут, т.е. до полного удаления влаги из навески. Высушенные и частично высушенные образцы охлаждали в эксикаторе до комнатной температуры, затем взвешивали, результаты заносили в таблицу.

На рис. 1 представлены построенные по результатам опытов кривые сушки бурого угля для различных гранулометрических составов. Из графика

видно, что процесс сушки всех гранулометрических образцов можно разделить на три периода: прогрев материала, период сушки с постоянной скоростью сушки и падающей скорости сушки. Можно отметить, что для мелкого гранулята 0,0–1,0 мм, 1,0–1,6 мм и 4,0–5,0 мм период постоянной скорости сушки практически одинаков и составляет около 15 мин., а для крупной фракции гранулята 20,0–25,0 мм и 30,0–40,0 мм этот период длится около 50 мин.

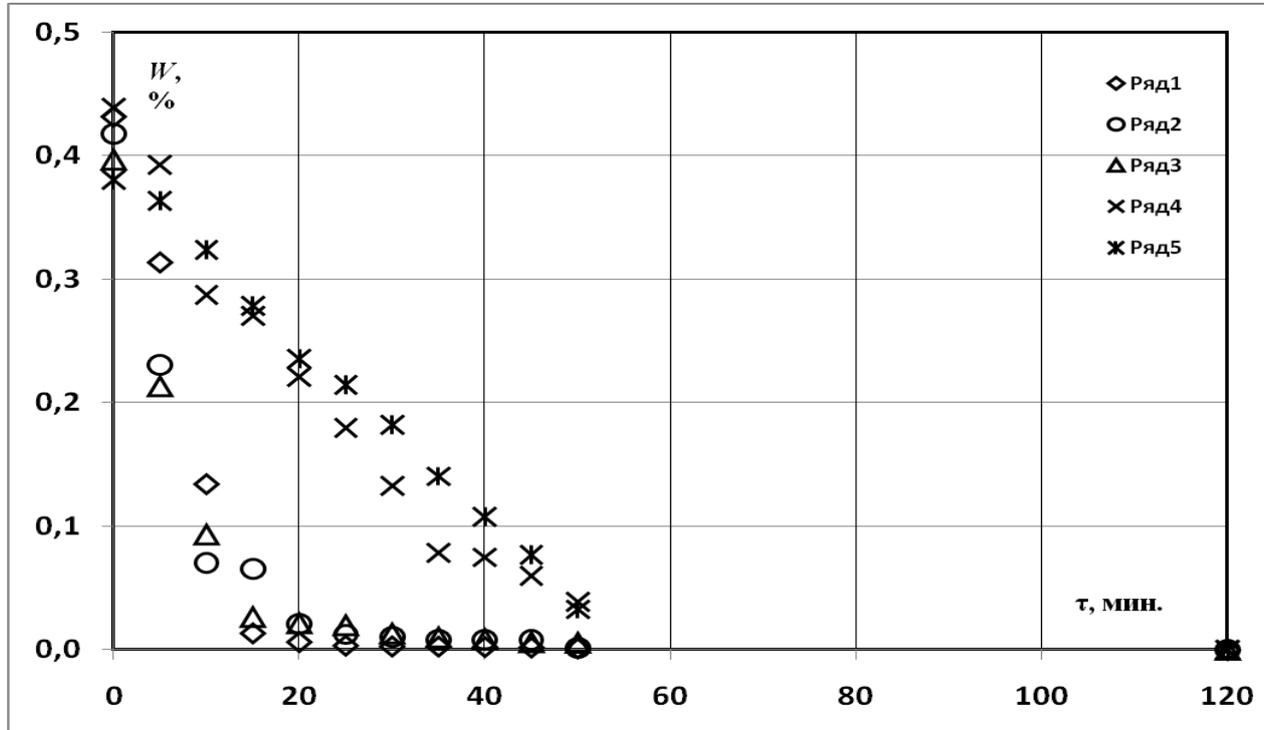


Рисунок 1. Кривые сушки гранулированного бурого угля:  
ряд 1 –  $\delta = 0,0\text{--}1,0$  мм; ряд 2 –  $\delta = 1,0\text{--}1,6$  мм; ряд 3 –  $\delta = 4,0\text{--}5,0$  мм;  
ряд 4 –  $\delta = 20,0\text{--}25,0$  мм; ряд 5 –  $\delta = 30,0\text{--}40,0$  мм

Отметим, что период постоянной скорости сушки заканчивается при остаточной влажности бурого угля около 5%. Это свидетельствует о том, что в период постоянной скорости сушки удаляется влага не только поверхностная, но и капиллярная. Удаление значительного количества капиллярной влаги в период постоянной скорости сушки свидетельствует о присутствии макрокапилляров в структуре гранулята бурого угля, в которых, по П.А. Ребиндеру, энергия связи влаги с материалом меньше, чем в микрокапиллярах.