

Процессы активации углей электрическим разрядом в водоугольной суспензии

С. Л. Буянтуев^{1,2}, А. Б. Хмелев¹, А. С. Кондратенко², Ф. П. Балдынова¹, Е. Б. Жалсабон¹,
Ю. Ю. Стебенькова¹, А. Д. Алферов¹, Д. А. Чукреев¹

¹Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
670013, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д.40В, e-mail: buyantuevsl@mail.ru

²Бурятский государственный университет, 670000, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а,
e-mail: cubanit@yandex.ru

Аннотация

В данной статье исследуются реологические свойства водоугольной суспензии обработанной электроразрядным методом, а именно скорость оседания частиц угля в суспензии и определение ее гранулометрического состава до и после электроразрядной обработки. Анализ образцов суспензии производился седиментационным методом, скорость оседания частиц измерялся на торсионных весах. Показаны расчеты гранулометрического состава суспензии, по аналитическому методу описан процесс седиментации. На основании расчетов построены седиментационные кривые, интегральные и дифференциальные кривые распределения, позволяющие описать процесс седиментации образцов суспензии. Проведенные исследования показали, что электроразрядная обработка водоугольной суспензии делает систему устойчивой.

Ключевые слова: водоугольная суспензия, электроразрядная обработка, седиментационная устойчивость, гранулометрический состав, скорость седиментации.

Coal Activation Process by Electrical Discharge in Coal-water Slurry

S. L. Buyantuev^{1,2}, A. B. Khmelev¹, A. S. Kondratenko², F. P. Baldynova¹, E. B. Zhalsabon¹,
Y. Y. Stebenkova¹, A. D. Alferov¹, D. A. Chukreev¹

¹East Siberia State University of Technology and Management,

Kluhevskaya Str., 40B, Ulan-Ude 670013, Russia, e-mail: buyantuevsl@mail.ru

²Buryat State University, Smolin Str., 24a, Ulan-Ude, 670000, Russia, e-mail: cubanit@yandex.ru

Abstract

The paper studies the rheological properties of coal-water slurry treated by electric discharge. The sedimentation rate of the coal particles in the suspension, and the definition of its particle size distribution before and after the electric discharge machining have been investigated. The analysis of slurry samples has been produced by sedimentation, sedimentation rate of the particles has been measured in the torsion balance. Estimates of particle size distribution of the slurry are presented, the sedimentation process is described by means of the analytical method. On the basis of calculations the sedimentation curves, integral and differential distribution curves that allow describing the process of sedimentation slurry samples have been constructed. The studies have shown that the electric discharge processing makes coal-water slurry system stable.

Keywords: coal-water slurry, electric discharge machining, sedimentation stability, particle size distribution, sedimentation rate.

Введение

Анализ мировых ресурсов невозобновляемых топлив позволяет сделать вывод, что наиболее перспективными для использования в энергетике является уголь, поскольку его запасы на Земле многократно превышают суммарные запасы нефти и газа.

Однако экологические проблемы, возникающие при использовании угольного топлива, требуют разработки и внедрения новых эффективных с экономической и экологической точек зрения, угольных технологий. Для этого необходимо улучшить потребительские свойства угля и освоить получение на основе угля альтернативных топлив при замене дефицитных природных ресурсов: газообразного и жидкого нефтяного топлива. В связи с этим является актуальным использование угля в виде суспензионного водоугольного топлива или водоугольных суспензий (ВУС). [1]

Постановка задачи

ВУС обладает технологическими свойствами жидкого топлива (транспортировка в авто- и железнодорожных цистернах, по трубопроводам, в танкерах и наливных судах, хранение в закрытых резервуарах) и должна сохранять свои свойства при длительном хранении и транспортировании, то есть быть седиментационно устойчива [2].

Способ решения проблемы

Решение проблемы основано на применении электроразрядного метода получения ВУС без применения пластификаторов. Методика проведения эксперимента и ранее полученные микроснимки и элементный анализ угля до и после обработки подробно рассмотрены в работе [3].

В данной статье показаны результаты исследования радиуса частиц ВУС до и после электроразрядной обработки седиментационным методом и скорость их оседания, а также частиц кека с добавлением керосина для уменьшения вязкости системы.

Экспериментальная часть

Под седиментационным методом анализа понимают определение гранулометрического состава, основанное на разнице в скоростях оседания частиц в вязкой среде в зависимости от их размера. Измеряя скорость оседания, можно определить радиус оседающих частиц по закону Стокса [4]:

$$r = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot U}{2 \cdot (\rho_y \cdot \rho_z) \cdot g}} \quad (1)$$

где r – радиус частицы, м;

U – скорость оседания частицы в жидкой среде, м/с;

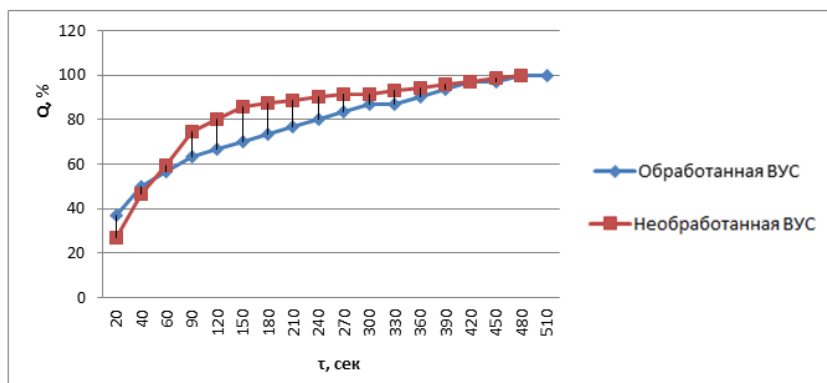
ρ_y – плотность материала порошка, кг/м³;

ρ_z – плотность жидкой среды, кг/м³;

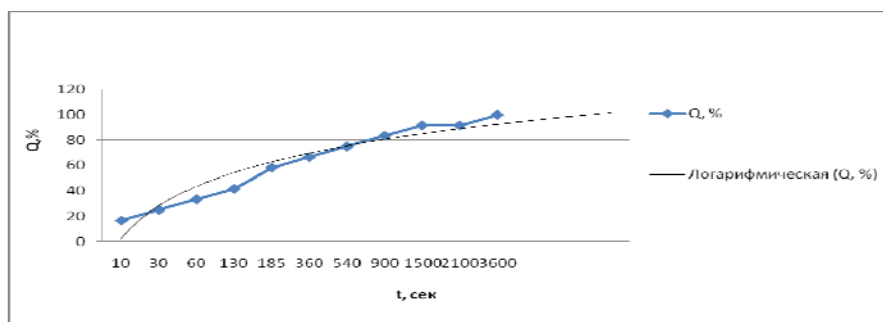
g – ускорение свободного падения, м/с²;

η – вязкость жидкой среды, Па * с.

Скорость оседания частиц измерена на специальном приборе, предназначенном для седиментационного анализа. Жидкой средой служит вода с известным значением вязкости, в которой порошок угля диспергируют, получая 0,5 % раствор (по объему) суспензии. После тщательного перемешивания суспензии ее оставляют расслаиваться, периодически взвешивая осадок, выпавший на грузоприемную чашку. По результатам непрерывного определения массы седиментационного осадка строят седиментационную кривую (рис. 1).



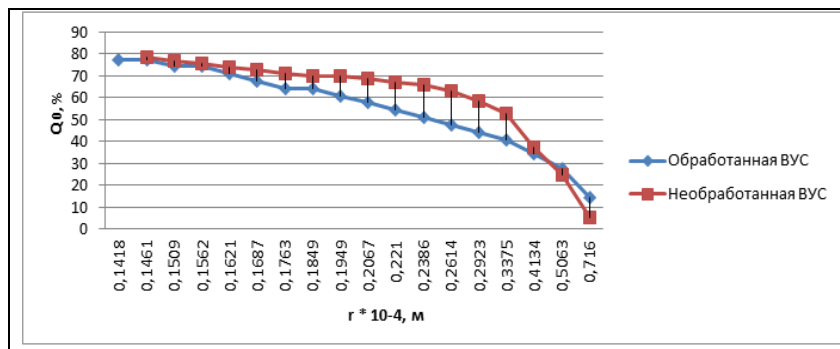
А)



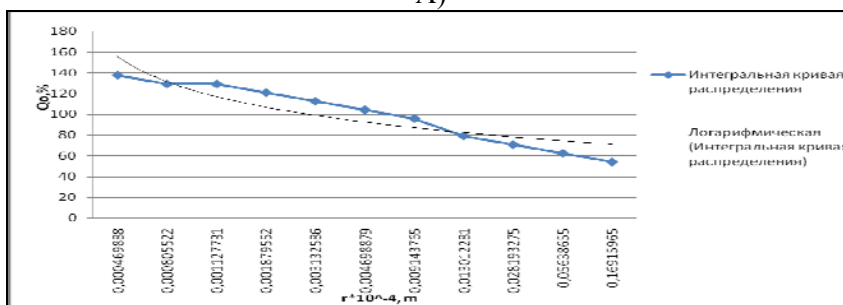
Б)

Рисунок 1. Седиментационная кривая: А) суспензии из угля, Б) суспензии из кека с добавкой керосина

Затем седиментационную кривую обрабатывают графическим способом (путем построения касательных в точках кривой, соответствующих разным значениям τ) и получают данные для построения интегральной и дифференциальных кривых распределения (рис. 2, 3).

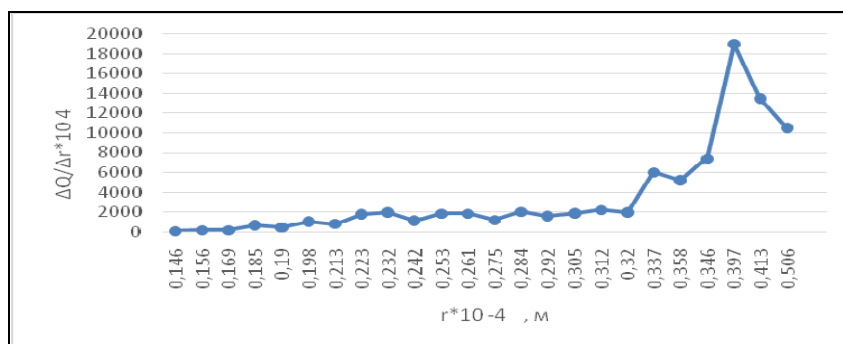


А)

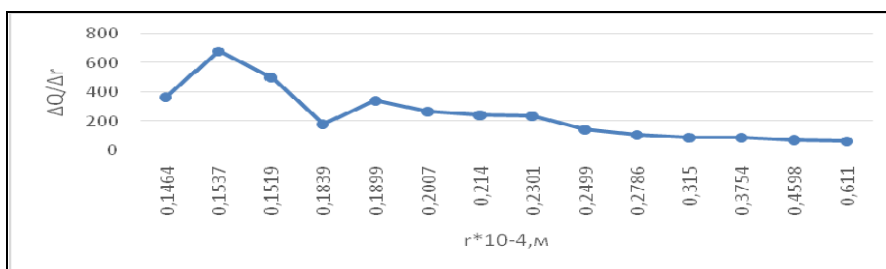


Б)

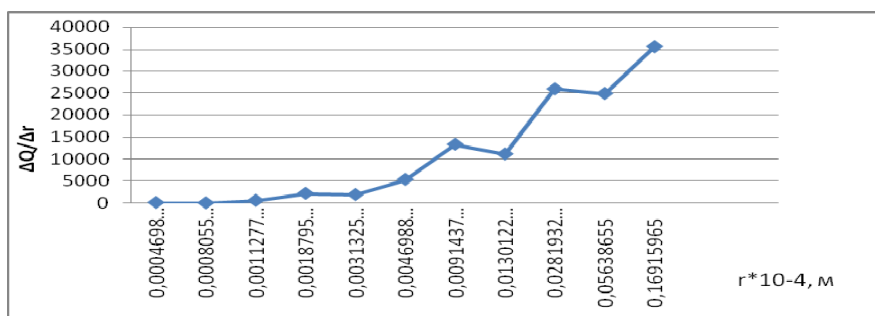
Рисунок 2. Интегральная кривая распределения: А) ВУС из угля, Б) ВУС из кека



А)



Б)



В)

Рисунок 3. Дифференциальная кривая распределения: А) До обработки, Б) После обработки, В) ВУС из кека после обработки

По форме дифференциальной кривой распределения судят об однородности порошка по размерам. Однако при использовании графического метода расчета кривых распределения возможны ошибки, связанные с недостаточной точностью проведения касательных к кривой. Эти недостатки можно избежать при аналитическом методе построения кривых распределения, предложенном Н.Н. Цюрупой (рис. 4).

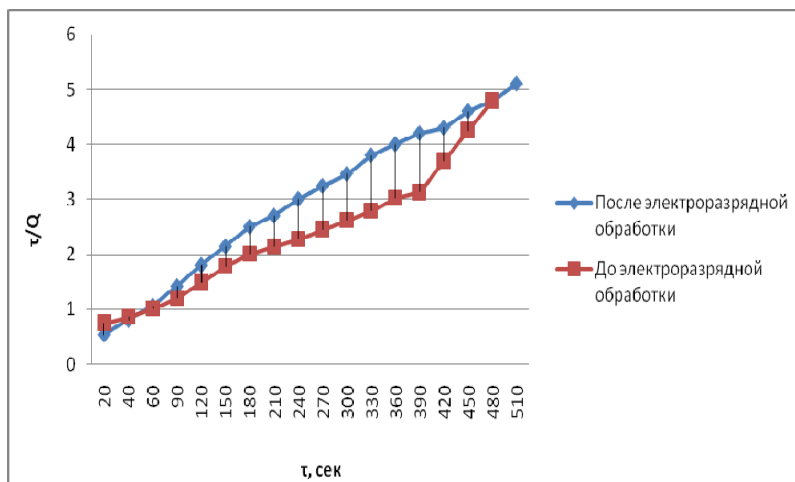


Рисунок 4. Кривая седиментации ВУС из угля

Далее показываются расчеты и числовые значения ВУС после обработки.

По аналитическому методу, процесс седиментации описывается уравнением:

$$Q = Q_m = \frac{\tau}{\tau + \tau_0} \quad (2)$$

где Q – вес фракций;

τ – время;

Q_m и τ_0 – константы, причем Q_m – зависит от полидисперсности и носит название коэффициента полидисперсности.

Этим уравнением лучше пользоваться в линейной форме (рис. 4):

$$\frac{\tau}{Q} = \frac{\tau_0}{Q_m} + \frac{\tau}{Q_m} \quad (3)$$

Получив прямую $\frac{\tau}{Q} = f(\tau)$, вычисляют Q_m по значениям котангенса угла наклона ее к оси абсцисс:

$$Q_m = ctg \alpha = \frac{1}{tg \alpha} = \frac{1}{0,26/1} = 4,6 (\%) \quad (4)$$

$$\frac{\tau_0}{Q_m} \text{ -- по отрезку на оси ординат } \tau_0 = \frac{\tau}{Q} Q_m$$

$$\frac{\tau_0}{Q_m} = 0,4322, \tau_0 = 0,4322 * 4,6 = 1,9881 (с)$$

Пользуясь уравнением $r_0 = \sqrt{\frac{K \cdot h}{\tau_0}}$, находят

$$r_0 = \sqrt{\frac{10,2521 * 10^{-8} * 16,5 * 10^{-2}}{1,9881}} = 9,22 * 10^{-5} (м) \quad (5)$$

$$K = \frac{9 * \eta * h}{2 * (\rho_s * \rho_s) * g} = \frac{9 * 0,897 * 10^{-8} * 16,5 * 10^{-2}}{2(1,66 - 0,9971) * 10^3 * 9,8} = 10,2521 * 10^{-8} \quad (6)$$

Из кинетического уравнения седиментации вытекает следующий интегральный закон распределения [4]:

$$Q_0 = Q_m \left(\frac{r_0^2}{r^2 + r_0^2} \right)^2 \quad (7)$$

где Q_0 – доля фракций, имеющих радиус $\leq r$; r_0 – коэффициент, зависящий от дисперсности.

Дифференциальная форма этого уравнения имеет следующий вид:

$$F = \frac{dQ_0}{dr} = 4Q_m \cdot r^4 \frac{r}{(r^2 + r_0^2)^3} \quad (8)$$

Далее определяют три основных радиуса, характеризующих кривую распределения частиц. Минимальный размер частиц:

$$r_{\min} = r_0 \cdot \sqrt{0,1 \cdot (\sqrt{Q_m} - 1)} = 9,22 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{0,1 \cdot (\sqrt{4,6} - 1)} = 3,11 \cdot 10^{-5} \text{ (м)} \quad (9)$$

Наиболее вероятный размер частиц:

$$r_{\text{в.в.}} = \frac{r_0}{2,24} = \frac{9,22 \cdot 10^{-5}}{2,24} = 4,12 \cdot 10^{-5} \text{ (м)} \quad (10)$$

Максимальный размер:

$$r_{\max} = 3 \cdot r_0 = 3 \cdot 9,22 \cdot 10^{-5} = 27,66 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}. \quad (11)$$

Система полидисперсная, скорость седиментации частиц следующая:

$$U_{\text{сед}} = \frac{2gr^2(\rho - \rho_0)}{9\eta} \quad (12)$$

U - скорость седиментации, r – радиус частиц угля,
 g - ускорение свободного падения,

Результаты

Не обработанная водоугольная суспензия:

1. Радиус и скорость седиментации, частиц минимального размера

$$r_{\min} = 4,3726 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}, \quad U_{\text{сед}} = 30,77 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$$

2. Радиус и скорость седиментации, частиц наиболее вероятного размера

$$r_{\text{в.в.}} = 4,6083 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}, \quad U_{\text{сед}} = 34,1783 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$$

3. Радиус и скорость седиментации, частиц максимального размера

$$r_{\max} = 30,9681 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}, \quad U_{\text{сед}} = 1543,47 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$$

Обработанная водоугольная суспензия:

1. Радиус и скорость седиментации, частиц минимального размера :

$$r_{\min} = 3,11 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}, \quad U_{\text{сед}} = 15,58 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$$

2. Радиус и скорость седиментации, частиц наиболее вероятного размера :

$$r_{\text{в.в.}} = 4,12 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}, \quad U_{\text{сед}} = 27,35 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$$

3. Радиус и скорость седиментации, частиц максимального размера :

$$r_{\max} = 27,66 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}, \quad U_{\text{сед}} = 1232,59 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$$

Заключение

Проведенные нами исследования показали, что электроразрядная обработка водоугольной суспензии делает систему устойчивой. Пользуясь аналитическим методом построения кривых распределения, предложенным Н.Н. Цюрупой, определили скорость седиментации частиц в суспензиях, обработанной электроразрядным методом и не прошедшей обработку. Анализ показал, что скорость седиментации частиц уменьшается в обработанной водоугольной суспензии с $U_{\text{сед}} = 30,77 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$ до $U_{\text{сед}} = 15,58 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$, для частиц с минимальным размером. Частицы с размерами $r_{\text{в.в.}} = 4,12 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}$ в обработанной суспензии и $r_{\text{в.в.}} = 4,6083 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}$ в необработанной суспензии имеют скорость седиментации $U_{\text{сед}} = 27,35 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$ и $U_{\text{сед}} = 34,1783 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$, соответственно. Частицы, имеющие максимальные размеры частиц $r_{\max} = 27,66 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}$, в обработанной суспензии и $r_{\max} = 30,9681 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}$ в необработанной суспензии, также седиментируют с разной скоростью:

$U_{\text{сед}} = 1232,59 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$ - скорость седиментации обработанной суспензии,

$U_{\text{сед}} = 1543,47 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$ - скорость седиментации необработанной суспензии.

Дифференциальные кривые распределения показывают, что в обработанной водоугольной суспен-

зии преобладают в основном частицы размером $0,1537 \cdot 10^{-4}$ м (рис. 3 А), тогда как в необработанной суспензии преобладают частицы размером $0,413 \cdot 10^{-4}$ м (рис. 3 Б), что говорит о повышении агрегативной устойчивости обработанной системы, в суспензии из кека с добавлением керосина преобладают частицы с размером $0,035 \cdot 10^{-4}$ м (рис. 3 В).

Таким образом, электроразрядная обработка водоугольной суспензии повышает седиментационную и агрегативную устойчивость дисперсной системы, что является важной технической характеристикой при транспортировке и хранении.

Литература

1. Сенчурова Ю.А., Мурко В.И., Федяев В.И., Дзюба Д.А., Пузырев Е.М. Результаты исследований распыления водоугольного топлива пневмомеханическими форсунками // Новости Томского политехнического университета. -2008. - С. 37-40
2. Журавлева Н.В., Мурко В.И., Федяев В.И., Дзюба Д.А., Сенчурова Ю.А., Заостровский А.Н. Вихревая технология сжигания суспензионного водоугольного топлива // Экология и промышленность России. 2009. С.6-9
3. Buyantuev S., Kondratenko A., Khmelev A. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2014. V.9. №11. Indonesia. P.2102-2105.
4. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1975. 511 с

УДК 62-63

doi: 10.18.101/978-5-9793-0883-8-152-156

Исследование процессов фазовых превращений углей и получение углеродных наноматериалов в плазме электрического разряда в газе

С. Л. Буянтуев^{1,2}, А. С. Кондратенко¹, С. Ю. Шишулькин¹,
А. Б. Хмелев², И. В. Старинский², С. А. Благодичнов²

¹Бурятский государственный университет, 670000, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а,
e-mail: buyantuevsl@mail.ru

²Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
670013, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д. 40В, строение 1, 670047, e-mail: buyantuevsl@mail.ru

Аннотация

В статье приведены методика и результаты исследований изменений свойств Окиноключевского бурого угля до и после термической активации в электродуговой плазме. Исследования производились методами измерения плотностей, удельной и суммарной пористости, микроскопией пористой поверхности, а также нахождения удельной поверхности угля после плазменной обработки. В статье также рассмотрен вопрос образования сажи содержащей углеродные наноматериалы из графитовых электродов и из углей обработанных электродуговой плазмой. Изучение вопроса сажеобразования проведено с помощью программного комплекса термодинамических и фазовых превращений «ТЕРРА».

Ключевые слова: сорбент, пористость, плотность (действительная, кажущаяся, насыпная), объем пор, удельная поверхность, микроскопия поверхности, электродуговая плазменная обработка, сажа, углеродные наноматериалы, программный комплекс «ТЕРРА».

The Study of the Processes of Phase Transformations of Coals and Production of Carbon Nanomaterials in the Plasma Electric Discharge in Gas

S. L. Buyantuev^{1,2}, A. S. Kondratenko¹, S. Y. Shishulkin¹, A. B. Khmelev², I. V. Starinskiy²,
S. A. Blagochinov²

¹Buryat state University, 670000, Russia, Ulan-Ude, Smolin Str., 24A, e-mail: buyantuevsl@mail.ru

²East-Siberia State University of Technology and Management, 670013, Russia, Ulan-Ude, Klyuchevskaya Str., 40V,
building 1, 670047, e-mail: buyantuevsl@mail.ru

Abstract

The article presents the methodology and results of the studies of changes of properties of Okinoklyuchevsky brown coals before and after thermal activation by electric arc plasma. The study was carried by methods of measurement of density, specific gravity and total porosity, microscopy of the porous surfaces, and finding the specific surface area of coal after plasma treatment. The article also cleared the issue of synthesis of soot, containing carbon nanomaterials from graphite electrodes and from coals processed by electric arc plasma. The study of soot formation was conducted using the program complex for thermodynamic and phase transformations "TERRA".

Keywords: sorbent, porosity, density (actual, apparent, bulk), pore volume, specific surface, surface microscopy, arc plasma treatment, carbon black, carbon nanomaterials, the software complex "TERRA".

Одной из перспективных технологий переработки низкосортных углей на сегодняшний день является термодеструкция с использованием энергии электродуговой плазмы в плазменно-топливных системах. Использование данных систем позволяет получать комплекс ценных продуктов углеродной переработки, а именно: синтез-газ, активированный уголь, а также углеродные наноматериалы, которые