

BULLETIN OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSN 1991-3494

Volume 54, Number 357 (2015), 123 – 130

**RESEARCH THE ABILITY TO FORMATION OF GRANULES  
OF COAL WASTE AND KINETICS OF BURNING OF COAL  
AS A PART OF COAL WITHDRAWAL**

**O. S. Balabekov<sup>1</sup>, B. N. Korganbayev<sup>2</sup>, V. G. Golubev<sup>3</sup>, S. S. Sermanizov<sup>4</sup>, N. A. Erzhanov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>South Kazakhstan State Teacher Training College, Shymkent, Kazakhstan,

<sup>2</sup>International Humanitarian and Technical University, Shymkent, Kazakhstan,

<sup>3</sup>South Kazakhstan State University of M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan,

<sup>4</sup>Regional Social and Innovative University, Shymkent, Republic of Kazakhstan.

E-mail: mr.baurs@mail.ru; ernur-75@mail.ru; golubev\_50@mail.ru; balausa2002@mail.ru; akparstan@mail.ru

**Key words:** kinetics, burning, granulation, withdrawal, coal.

**Abstract.** With the steady growth of the industry and requirements of the population, despite periodic crises the requirement of use of energy resources to which coal belongs increases. However, not all it is used in a type of various reasons. Its significant amount remains in the form of waste as on waste heaps, so in the form of dumps of industrial production, with all that it implies. There was a big problem needing the decision. Now in many countries solve it in own way, beginning from use as the filling components in construction production, before use as fuel. In the offered article use of a coal trifle by its granulation according to the classical scheme is described. The scheme of trial installation for receiving granules and determination of quality of their durability is offered. Besides, the scheme of the integrated thermal installation is offered and a technique of researches of kinetics of burning of coal as a part of coal withdrawal. Technological parameters of carrying out researches are provided.

For the description of dependence of a constant of speed of chemical reaction on temperature we used the equation of Arrhenius from which follows that at high temperature, in case of very high speed of course of chemical reaction, process of a mass exchange weakens and the speed of oxidation of carbon is defined by diffusive factors. Locates in our case that full burning of carbon happens existence in composition of furnace charge of vapors of water and participation of carbon dioxide.

УДК 622:504

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ УГОЛЬНЫХ ОТХОДОВ И КИНЕТИКИ ГОРЕНИЯ УГЛЯ В СОСТАВЕ УГЛЕОТХОДОВ

О. С. Балабеков<sup>1</sup>, Б. Н. Корганбаев<sup>2</sup>, В. Г. Голубев<sup>3</sup>, С. С. Серманизов<sup>4</sup>, Н. А. Ержанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский государственный педагогический институт, Шымкент, Казахстан,

<sup>2</sup>Международный гуманитарно-технический университет, Шымкент, Казахстан,

<sup>3</sup>Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

<sup>4</sup>Региональный социально-инновационный университет, Шымкент, Казахстан

**Ключевые слова:** кинетика, горение, гранулирование, отход, уголь.

**Аннотация.** С неуклонным ростом промышленности и потребностей населения, несмотря на периодические кризисы возрастает потребность использования энергоресурсов, к которым относится уголь. Однако, далеко не весь он используется в виде различных причин. Значительное количество его остается в виде отходов как на терриконах, так в виде отвалов промышленного производства, со всеми вытекающими последствиями. Возникла большая проблема, нуждающаяся в решении. В настоящее время во многих странах решают ее по-своему, начиная от использования в качестве наполняющих компонентов в строительном производстве, до использования в качестве топлива. В предлагаемой статье описывается использование угольной мелочи путем ее грануляции по классической схеме. Предлагается схема опытно-промышленной установки для получения гранул и определение качества их прочности. Кроме того, предлагается схема укрупненной термической установки и методика исследований кинетики горения угля в составе углеотходов. Представляются технологические параметры проведения исследований.

Для описания зависимости константы скорости химической реакции от температуры нами было использовано уравнение Аррениуса, из которого следует, что при высокой температуре, в случае очень высокой скорости протекания химической реакции, процесс массообмена ослабевает и скорость окисления углерода определяется диффузионными факторами. В нашем случае обосновывается, что полное горение углерода происходит наличием в составе шихты паров воды и участием углекислого газа.

**Введение.** Гранулирование, по определению, данному в [1] - это совокупность физических и физико-химических процессов, обеспечивающих формирование частиц определенного спектра размеров, формы, необходимой структуры и физических свойств. Оно включает следующие технологические стадии переработки: а) подготовку исходного сырья, дозирование, смешение компонентов; б) собственно гранулирование; в) стабилизацию структуры (упрочнение связей между частицами сушкой, охлаждением, полимеризацией и др.); г) выделение товарной фракции (классификация по размерам).

В связи с тем, что использование в качестве сырья для получения топлива из-за недостаточных пластических свойств отходов шахт, гранулирование его является важным технологическим процессом, так как отходы шахт являются непластичным материалом.

**Методы исследования.** В связи с этим в процессе увлажнения углеотходов процесса гранулирования необходимо проводить в два этапа:

1. Определение коэффициента гранулирования отходов методом Витюгина [2].
2. Определение в тарельчатом грануляторе выход гранул отходов с использованием коэффициента грануляции.

В общем гранулирование дисперсных материалов основано на их свойстве водопоглощения, определяемым количеством поглощенной влаги. Пластическое свойство материала характеризует

удерживание молекул воды в своем составе. Если дисперсный материал обладает меньшим водопоглощением, то его молекулярное водопоглощающее свойство близко к нулю.

В связи с этим коэффициент гранулирования любого дисперсного материала определяется через его водопоглощающее свойство:

$$K = MWP / (KWP - MWP), \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент грануляции (гранулирования);  $MWP$  – молекулярное водопоглащающее свойство;  $KWP$  – капиллярное водопоглащающее свойство.

По данным ВНИИСтром им. П. П. Будникова (Россия) считается [3], что любая отходящая мелочь, у которых показатель грануляции находится в диапазоне 0,45-0,75 гранулируется. Показатели  $MWP$  и  $KWP$  для дисперсных материалов представленных в формуле (1) определяли влажном круглом образце углеотходов, изготовленных диаметром 50 мм и толщиной 2 мм под действием вакуума в 10 кгс/см<sup>2</sup>, обезвоживая в промежутке между двумя водопоглащающими бумагами.

Грануляцию углеотходов проводили на тарельчатом грануляторе с использованием методики, разработанной в институте ВНИИСтром и изложенной в «Указаниях по испытанию сырьевых материалов У-02-63».

Грануляционное свойство мелочи углеотходов определяли в наклонном тарельчатом грануляторе с диаметром 1200 мм, числом оборотов 10 об/мин и углом наклона 48° (рисунок 1). Перед проведением грануляции мелочь весом 3 кг увлажняли и в течении 6 минут проводили гранулирование. Полученные гранулы выгружали, рассеивали на фракции и определяли выход каждой фракции по объему и весу. Данные гранулы должны обладать требуемой прочностью, чтобы не разрушались при транспортировке. Поэтому качество гранул углеотходов оценивалось по прочности при предельной высоте падения и по количеству сбрасываний на металлическую плиту с высоты 500 мм. Прочность гранул на удар определялась по числу падений гранул с высоты 300 мм на металлическую плиту, при котором появлялась первая трещина. Максимальная высота падения определялась путем сбрасывания гранул с разной высоты на металлическую плиту. За предельную высоту падения принималась высота, при сбрасывании с которой происходит разрушение не более двух гранул из десяти [2-6].

Основные физико-технические свойства гранул углеотхода (насыпная плотность, прочность при сдавливании в цилиндре, водопоглощение, морозостойкость и др.) определяли по общепринятым методикам [7, 8].

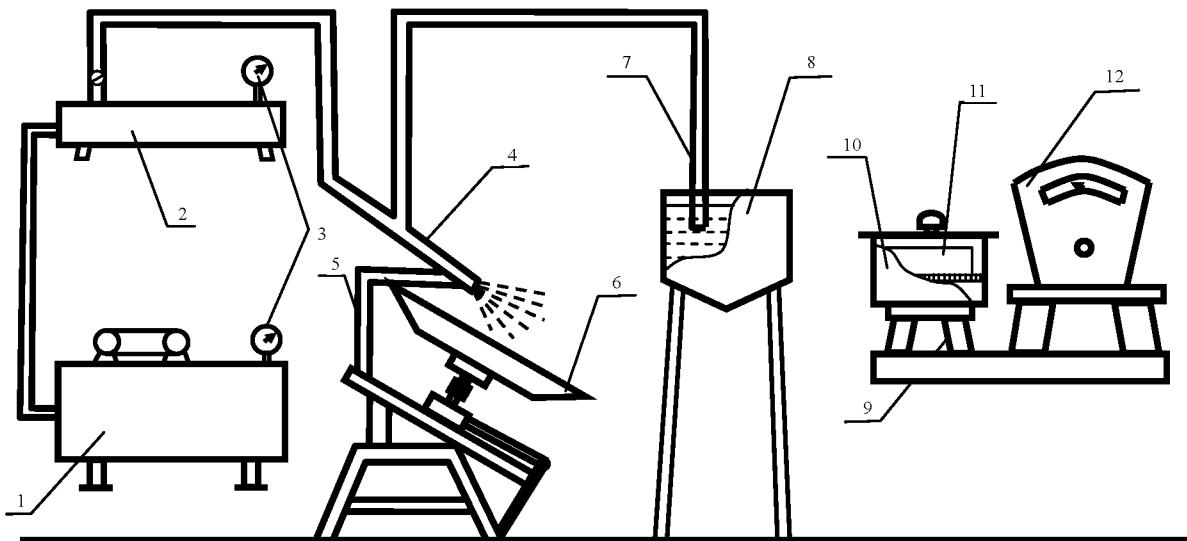


Рисунок 1 – Схема опытно-промышленной установки:

- 1 – емкость;
- 2 – промежуточная емкость;
- 3 – манометры;
- 4 – форсунка для распыления воды;
- 5 – труба для подачи мелочи;
- 6 – гранулятор;
- 7 – труба для подачи воды;
- 8 – емкость для воды;
- 9 – установка для измерения гранул;
- 10 – эксикатор;
- 11 – посуда для размещения гранул;
- 12 – весы

Инженерно-экологическую оценку состояния окружающей среды проводили путем измерения параметров источников загрязнения окружающей среды, расчета количества выбрасываемых вредных веществ в атмосферу и установления уровня рассеивания вредных веществ в атмосфере с нанесением концентрационных линий рассеивания на карте-схеме района размещения источников загрязнений.

Методика исследований кинетики горения угля в составе углеотходов осуществлялась следующим образом.

Исследования кинетики горения угля в углеотходах шахт проведены на укрупненной термической установке, представленной на рис. 2. Термическая установка состоит из печи обжига 1, фарфоровой трубы 2, образцов гранул 3 и дифференциальной термопары 4, дифференциальная термопара собирается из двух термопар, соединенных между собой сваркой.

Сначала углеотход измельчается в фарфоровой посуде. В измельченную массу добавляют воду в объеме 12% от массы и готовится смесь, а затем смесь заливают в специальные формы для получения гранул цилиндрической формы, диаметром 3 и длиной 10 мм. Эти гранулы (в количестве 3 штук) обжигаются в электропечи при температуре 1100 °С. Подготовленные таким образом гранулы являются эталонными. Эталонная и исследуемая гранула соединяется с каждой дифференциальной термопарой и обжигается в трубчатой электропечи. При обжиге гранул обеспечивается непрерывный обжиг гранул от комнатной температуры до 1000 °С и при фиксированных температурах – 700, 800, 900 и 1000 °С. В процессе обжига, в результате горения кокса в составе гранулами, образуется разница температур между исследуемым и эталонным гранулами и измеряется с помощью милливольтметра. Для равномерного обжига гранул в фарфоровую трубку подается воздух с помощью микро-компрессора или азот из баллона 9.

Построение графика зависимости температуры горения кокса углеотхода от времени по результатам эксперимента основано на определении энергии активации логарифмическим преобразованием уравнением Колмогорова – Ерофеева [9-11].

Преобразование производится в виде следующих уравнений:

$$\alpha = 1 - e^{-\kappa \tau^n} \quad (2)$$

$$1 - \alpha = e^{-\kappa \tau^n} \quad (3)$$

$$\ln(1 - \alpha) = -\kappa \tau^n \quad (4)$$

$$-\ln(1 - \alpha) = \kappa \tau^n \quad (5)$$

$$\ln[-\ln(1 - \alpha)] = \ln \kappa + n \ln \tau \quad (6)$$

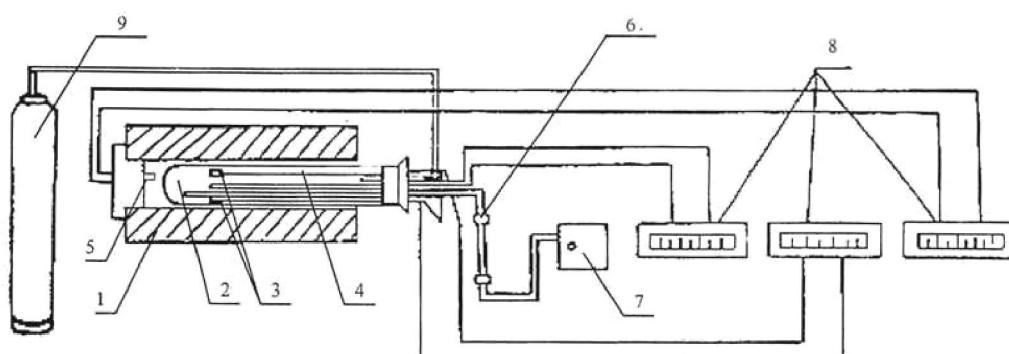


Рисунок 2 – Схема укрупненной термической установки:

1 – печь обжига; 2 – фарфоровая трубка; 3 – образцы гранул; 4 – дифференциальная термопара; 5 – наконечник; 6 – соединительные провода; 7 – прибор для измерения температуры; 8 – милливольтметры; 9 – баллон для азота

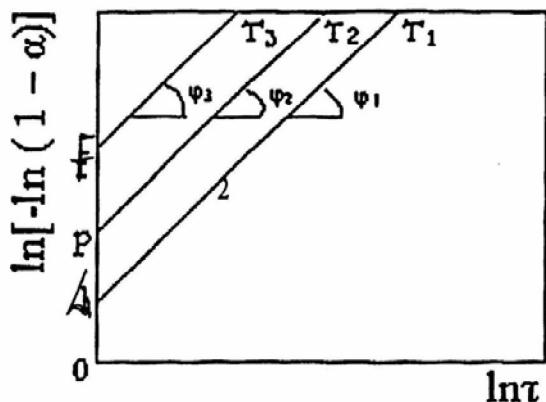
## Результаты исследований

Результаты преобразования и экспериментов заносятся в виде следующей таблицы 1.

Таблица 1 – Результаты преобразования и экспериментов

Общие значения	$1 - \alpha$	$\ell_n(1 - \alpha)$	$\ell_n[-\ell_n(1 - \alpha)]$	$\tau$	$\ell_n\tau$
$\alpha_1$				$\tau_1$	
$\alpha_2$				$\tau_2$	
$\alpha_3$				$\tau_3$	

Такие таблицы заполняются для каждой температуры. Затем на координатах  $\ell_n [-\ell_n(1 - \alpha)]$  и  $\ell_n\tau$  строятся прямые. Определяется «n» параметр определением  $t_{g\phi}$  между прямым и абсциссой. На рисунке 3 значения OL, OP и OF показывают величину  $\ell_n \kappa_1$ ,  $\ell_n \kappa_2$ ,  $\ell_n \kappa_3$  и через «n» определяется константа скорости реакции окисления  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$ .

Рисунок 3 – Зависимость  $\ln[-\ln(1 - \alpha)] \approx \ln \tau$ 

Энергия активации определяет скорость прохождения температурного процесса. Энергия активации определяется через решение уравнения Аррениуса [12-14].

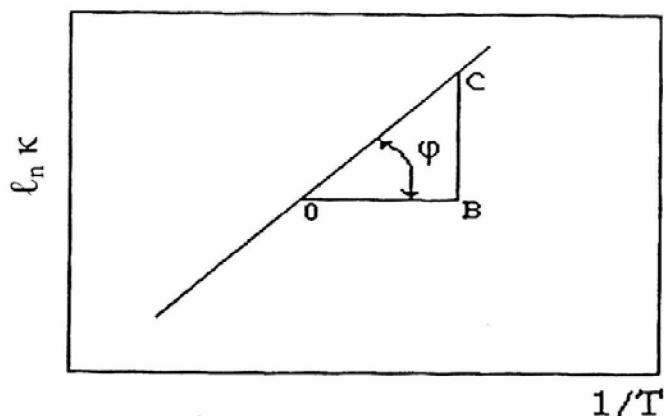
$$K = A \cdot e^{-E/RT} \quad (7)$$

где Е – энергия активации, ккал/моль.

Значение Е определяется по уравнению:

$$E = R (\ell_n \kappa_1 - \ell_n \kappa_2) / (1/T_1 - 1/T_2) = 4,37 (\ell_n \kappa_1 - \ell_n \kappa_2) / (1/T_1 - 1/T_2) \quad (8)$$

Зависимость  $\ell_n \kappa = f(1/T)$  представлена на рисунке 4.

Рисунок 4 – Зависимость  $\ell_n \kappa = f(1/T)$ 

Энергия активации Е определяется по формуле:

$$E = 4,575 \operatorname{tg}\phi \text{ (ккал/моль)} \quad (9)$$

$$E = 8,314 \operatorname{tg}\phi \text{ (ккал/моль)} \quad (10)$$

Здесь  $\operatorname{tg}\phi = \text{OB}/\text{OA}$ ;

$$4,575 = 2,3 R \text{ (ккал/моль·град);}$$

$$8,314 = 2,3 \cdot 4,19 \cdot R \text{ (Дж/моль·град).}$$

### Обсуждение результатов

Полученные результаты можно использовать для преобразования уравнения Аррениуса, получив после преобразования выражение:

$$\frac{d \ln K}{dT} = E / RT^2, \quad (11)$$

где  $K$  – константа химического равновесия;  $K_1$  и  $K_2$  – константы скорости прямой и обратной реакции;  $Q$  – тепловой эффект химической реакции;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура.

Уравнение (11), называемое уравнением Аррениуса, характеризует зависимость константы скорости химической реакции от температуры. Величина  $E$  показывает измерения энергии и называется энергией активации. Энергию активации, сопоставляя (сравнивая) средней энергией молекул, которые могут вступить в химическую реакцию при данной температуре, можно определить в качестве энергии лишней величины. Скорость горения частиц топлива, находящейся внутри гранул определяется внутренними диффузионными и кинетическими процессами. При низких температурах доступ кислорода к поверхности углерода происходит за счет физической абсорбции. При этом скорость химической реакции взаимодействия кислорода и углерода, намного ниже, чем при диффузионном процессе между ними. Следовательно, на этом этапе агрегационного процесса режим горения топлива, определяется кинетическими факторами (3,6 кДж;  $T - 150^\circ\text{C}$ ). При высокой температуре, в случае очень высокой скорости протекания химической реакции, процесс массообмена ослабевает и скорость окисления углерода определяется диффузионными факторами. В этом периоде процесс горения топлива происходит в диффузионной области. Используя эту теорию некоторые авторы [16-20] доказывают, что процесс горения отходов кокса осложняется из-за образования жидкой фазы, в таких случаях ослабевает диффузия кислорода в частицах кокса. В таких случаях обосновывается, что полное горение углерода происходит наличием в составе шихты паров воды и участием углекислого газа.

**Выводы.** Таким образом, в данной работе описывается использование угольной мелочи путем ее грануляции по классической схеме. Предлагается схема опытно-промышленной установки для получения гранул и определение качества их прочности. Кроме того, предлагается схема укрупненной термической установки и методика исследований кинетики горения угля в составе углеотходов методика построения графика зависимости температуры горения кокса углеотхода от времени и технологические параметры проведения исследований.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Классен П.В., Гришаев И.Г. Основы техники гранулирования. - М.: Химия, 1982. - С. 27-42.
- [2] Королева Н.В. Физико-химические методы исследования углей и продуктов их переработки. Учебное пособие. – М.: РХТУ, 1984. - 48 с.
- [3] Васильков С.Г., Швыряев В.А., Журба А.Б. Влияние свойств и гранулометрического состава отходов углеобогащения на газопроницаемость // Труды ВНИИСтром. – М., 1975. - Вып 31(59). – С. 58-69.
- [4] Rumpf H. Chemie-Ingenieur-Technik. - 1974. - Vol.46(1). - P. 1-11.
- [5] Балес А.А., Сомова Т.Н., Балес А.В. Подготовка шихты для обжига и спекания. - Свердловск: Металлургия, 1983. - №6. - С. 26-29.
- [6] Тагут Л.Д. Экономика черной металлургии. - М.: Металлургия, 1979. - №8. - С. 73-78.
- [7] Beis H.B. Equipment of a granulation and ballup cars, Auflereitung-Technik. – 1970. - Vol. 11(5). - P. 381-389.
- [8] Рыжонков Д.И. Теория металлургических процессов. - М.: Металлургия, 1989. - 592 с.
- [9] Крушель Л.Г., Авсюкевич Е.И. Отвальные шахтные породы Львовского-Волынского угольного бассейна, как сырье для производства аглопорита // Труды НИИСМ БССР. - Минск, 1959. – С. 57-61.

- [9] Предпатент РК № 19051. Способ получения твердого топлива из вскрышных пород угольных месторождений / Дарибаев Ж.Г., Серманизов С.С., Ташимов Л.Т., Шевко В.М, Серманизов Н.С. – 2003.
- [10] Шлыков А.В. О влиянии важнейших факторов на механизм и кинетику выгорания органических веществ при обжиге керамических изделий // В кн.: Научные основы технологии и развития производства стеновой строительной керамики. - Киев, 1972. - С. 52-55.
- [11] Безверхий А.А. Процессы горения топлива в слое и кинетика агломерации глинистых сланцев // В кн.: аглопорит и аглопоритобетон: Сборник научных трудов НИИСМ. - Минск: Наука и техника, 1964. - С. 44-52.
- [12] Васильков С.Г., Швыряев В.А., Журба А.Б. Влияние свойств и гранулометрического состава отходов углеобогащения на газопроницаемость // Труды ВНИИстрем. – 1975. - Вып 31(59). - С. 58-69.
- [13] Чижиков Б.И. Хлоридовозгонка – метод извлечения золота, серебра, цветных металлов и железа из огарков // Советская золотопромышленность. - №6, 1936.
- [14] Кричко И.Б., Скрипченко Г.Б., Касаточкин В.И., Структурная химия углерода и углей. - М.: Наука, 1969. - С.57-59.
- [15] Дарибаев Ж.Е., Шевко В.М., Агломерационно-хлорирующий обжиг хвостов обогащения и вскрышных пород. – Кентай, 2004. - С. 132-138.
- [16] Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. - Л.: Химия, 1975. - 47 с.
- [17] Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. - М.: Химия, 1985. - 82 с.
- [18] Митропольский А.К. Техника статических вычислений. - М.: Наука, 1971. - 538 с.
- [19] Брановицкая С.В., Медведев Р.В., Фиалков Ю.Я.. Вычислительная математика в химии и химической технологии. - Киев: Вища школа, 1986. - 216 с.
- [20] Бондарь А.Г. Математическое моделирование в химической технологии. - Киев: Вища школа, 1973. - 164 с.

#### REFERENCES

- [1] Klassen P.V., Grishayev I.G. Bases of equipment of a granulation. M.: *Himy*, 1982, 27-42 (in Russ.).
- [2] Koroleva N.V. Physical and chemical methods of research of coals and products of their processing. M.: *RHTU*, 1984, 48 p (in Russ.).
- [3] Cornflowers S.G., Shvyryaev V.A., A.B's Zhurba. Influence of properties and particle size distribution of waste of coal preparation on gas permeability. *Works by VNIISTR*. M., 1975, 31(59), 58-69 (in Russ.).
- [4] Rumpf H. Chemie-Ingenieur-Technik. *Technik*. 1974, 46(1), 1-11 (in Eng.).
- [5] Bales A.A., Somov T.N., Bales A.V's. Preparation of furnace charge for roasting and agglomeration. Sverdlovsk: *Metallurgy*, 1983, 6, 26-29. (in Russ.)
- [6] Tanut L.D. Ekonomik of ferrous metallurgy. M.: *Metallurgy*, 1979, 8, 73-78. (in Russ.)
- [7] Beis H.B. Equipment of a granulation and ballup cars. *Aufbereitung-Technik*, 1970, 11(5), 381-389 (in Russ.).
- [6] Ryzhonkov D.I. Theory of metallurgical processes. M.: *Metallurgy*, 1989. 592 p (in Russ.).
- [8] Krushel L.G., Avsyukevich E.I. Dump mine breeds of the Lvovskogo-Volynsky coal basin as raw materials for production of an agloporit. *Works NIISM BSSR*. Minsk, 1959, 57-61 (in Russ.).
- [9] Prepatent RK No. 19051. A way of receiving solid fuel from overburden breeds of coal fields. Daribayev Zh.G., Sermanizov S.S., Tashimov L.T., Shevko V. M, Sermanizov N.S. 2003 (in Russ.).
- [10] Shlykov A.V. About influence of the major factors on the mechanism and kinetics of burning out of organic substances when roasting pottery. In book: *Scientific bases of technology and development of production of wall construction ceramics*. Kiev, 1972, 52-55 (in Russ.).
- [11] Bezverkhy A.A. In book: *agloporit and aglopjritobeton: Collection of scientific works of NIISM*. Minsk: *Science and equipment*, 1964, 44-52 (in Russ.).
- [12] Cornflowers S.G., Shvyryaev V.A., A.B's Zhurba. *Works by VNIISTR*. 1975, 31(59), 58-69 (in Russ.).
- [13] B.I. Hloridovozgonk's siskins a method of extraction of gold, silver, non-ferrous metals and iron from candle ends. *The Soviet gold mining*, 6, 1936 (in Russ.).
- [14] Krichko I.B., Skripchenko G. B., Kasatochkin V. I. Structural chemistry of carbon and coals. M.: *Science*, 1969, 57-59 (in Russ.).
- [15] Daribayev Zh.E., Shevko V. M. The Agglomerative chlorinating roasting of tails of enrichment and overburden breeds. Kentau, 2004, 132-138 (in Russ.).
- [16] Sautin S.N. Planning of experiment in chemistry and chemical technology. L.: *Chemistry*, 1975. 47 p (in Russ.).
- [17] Kafarov V.V. Cybernetics methods in chemistry and chemical technology. M.: *Chemistry*, 1985. 82 p (in Russ.).
- [18] Mitropolsky A.K. Tekhnika of static calculations. M.: *Science*, 1971. 538 p (in Russ.).
- [19] Branovitskaya S.V., Medvedev R.V., Fialkov Yu.Ya. Calculus mathematics in chemistry and chemical technology. Kiev: *Vishcha school*, 1986. 216 p (in Russ.).
- [20] Cooper A.G. Mathematical modeling in chemical technology. Kiev: *Vishcha school*, 1973. 164 p (in Russ.).

**КӨМІР ҚАЛДЫҚТАРЫНЫң ТҮЙІРШІКТЕЛУ ҚАСИЕТТЕРИН ЖӘНЕ  
КӨМІР ҚАЛДЫҚТАРЫ ҚҰРАМЫНДА КӨМІРДІҢ ЖАНУ КИНЕТИКАСЫН ЗЕРТТЕУ**

**О. С. Балабеков<sup>1</sup>, Б. Н. Қорғанбаев<sup>2</sup>, В. Г. Голубев<sup>3</sup>, С. С. Серманизов<sup>4</sup>, Н. А. Ержанов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Оңтүстік-Қазақстан мемлекеттік педагогикалық институт, Шымкент, Қазақстан,

<sup>2</sup>Халықаралық гуманитарлық-техникалық университет, Шымкент, Қазақстан,

<sup>3</sup>М.Әуезов ат. Оңтүстік-Қазақстан мемлекеттік университет, Шымкент, Қазақстан,

<sup>4</sup>Аймақтық әлеуметтік-инновациялық университет, Шымкент, Қазақстан

**Тірек сөздер:** кинетика, жану, түйіршіктеу, қалдық, көмір

**Аннотация.** Мерзімді дағдарыстарға қарамастан, өнеркәсіпорындардың қарқынды дамуына және халықтың қажеттілігіне байланысты энергетикалық қорлардың және оған жатқызылатын көмірдің де қажеттілігі өсуде. Бірақ, әртүрлі себептерге байланысты оны толық пайдаланбайды. Оның қомақты мөлшері әртүрлі салдар туындау арқылы қалдықтар түрінде террикондарда және өнеркәсіптік өндірістердің қалдықтары ретінде қалып қояды. Шешім қажет ететін үлкен мәселелер туындауда. Қазіргі таңда құрылым өндірісінде толықтырғыш құрамас ретінде қолданудан бастап отын ретінде қолдануға дейін оны көптеген елдерде өздігінше қолдануда. Ұсынылған макалада көмір майдасын классикалық схема бойынша түйіршіктеу арқылы пайдалану жолы сипатталған. Түйіршіктерді алуға арналған тәжірибелі-өнеркәсіптік қондырғының схемасы мен оның беріктік сапасын анықтау ұсынылуда. Сонымен бірге, ұлғайтылған термиялық қондырғының схемасы мен көмір қалдықтары құрамында көмірдің жану кинетикасын зерттеу әдіснамасы қарастырылған. Зерттеуді жүргізу дін технологиялық параметрлері көлтірілген.

Химиялық реакция жылдамдығының константасы мен температура арасындағы байланысты сипаттау үшін біз Аррениус теңдеуін колдандық, ол бойынша жоғарғы температурада, химиялық реакцияның өтे жоғарғы жылдамдықпен өтү жағдайында масса алмасу процесі әлсізденіп, көміртектің тотықтану жылдамдығы диффузиялық факторлармен анықталады. Біздің жағдайымызда, көміртектің толық жануы шихта құрамында су буласы бар болуымен және көмір кышқыл газдың катысуымен өтетіндігі нақтыланған.

Поступила 02.10.2015 г.