УДК 622.273.063.44.

Б. А. Анферов, Л. В. Кузнецова

ПЕРСПЕКТИВЫ СЕЛЕКТИВНОЙ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ ПЛАТИНУ

Современными научными исследованиями вещественного состава углей установлено, что в углях ряда месторождений присутствуют в повышенных концентрациях ценные химические элементы, в частности платина. Так содержание платины в углях месторождения Кайеркан (север Красноярского края) достигает 0,8 г/т (в пересчете на золошлаковый материал 2,5 г/т) [1]. Бурые угли месторождений Южного Урала, наряду с другими благородными металлами, также содержат платину [2]. Образцы шлама, поступающего на Кумертаускую брикетную фабрику из трех угольных месторождений Бабаевского, Маячного и Тюльганского, содержат от 0,28 до 0,91 г/т платины. Образцы золошлаковой смеси из отвалов Кумертауской ТЭЦ содержат от 0,57 до 2,2 г/т платины.

В Институте угля СО РАН (ИУ СО РАН) проведены геохимические исследования углей Ленинского и Соколовского месторождений Кузбасса. Содержания платины в образцах (в пересчете на золошлаковый материал) составило: для углей от 1,45 до 4,92 г/т; для породных прослоев (аргиллит) – 0,6 г/т [3].

Для сравнения приведем данные по качеству руд металлов платиновой группы (МПГ) эксплуатируемых в настоящее время месторождений России. В коренных концентрациях содержание МПГ в рудах составляют от 1,9 г/т (месторождение Фёдорова Тундра, участок Большой Ихтегипахк, Мурманская обл.) до 6,8 г/т (месторождение Норильск-1, Красноярский край); на россыпных платинометальных месторождениях – от 0,2 г/м^3 (месторождение Выйско-Исовская россыпь, Свердловская обл.) до 0,9 г/м^3 (месторождение Кондёр, Хабаровский край) [4]. В целом разведанные запасы платиноидов в России ежегодно сокращаются, их прирост в результате геологоразведочных работ не восполняет погашенные запасы при добыче, качество руд эксплуатируемых объектов в среднем выше, чем подготавливаемых [4].

Таким образом, уголь, продукты его переработки и потребления являются потенциальным источником попутного получения платины, так как содержания платины в них сопоставимы с нормативами промышленных кондиций руд МПГ.

Платина образует рудные включения в угольных пачках или партингах пластов, вблизи почвы и кровли [5]. Могут встречаться рудные концентрации по всей мощности пласта с образованием линз, прослоев, рассеянных вкрапленностей и других форм залегания. В связи с чем, необходимо организовать раздельную (селективную) выемку части пласта с содержанием платины.

До недавнего времени селективная выемка угля предусматривала раздельную выемку угля и пород прослоя (одного или нескольких) с направлением последних в выработанное пространство – завал. Такая постановка задачи была оправданной, так как транспортирование на поверхность пустой породы не имело смысла и означало не эффективное использование трудовых и материальных ресурсов, нанесение вреда окружающей природной среде. Однако выявление в угле и вмещающих породах ценных элементов в корне меняет представление об углях, так как, в зависимости от качественных и количественных показателей выявленных включений, товарная стоимость селективно добытого угля может в десятки и сотни раз превысить стоимость угля валовой добычи. В современных условиях, когда подавляющее число тепловых электростанций страны переведено на сжигание относительно дешевого природного газа, повышение товарной стоимости угольного производства становится весьма актуальным.

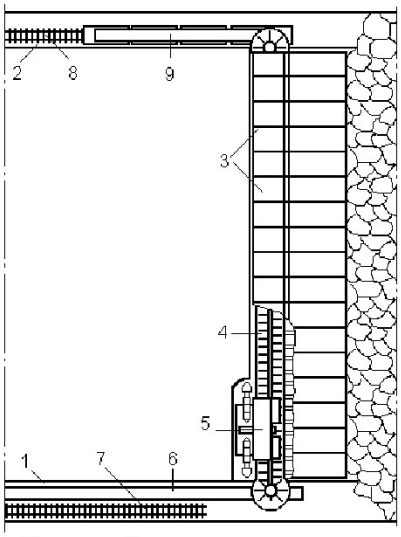

Рис. 1. Схема подготовки выемочного столба 1 – конвейерный штрек; 2 – вентиляционный штрек; 3 – секция механизированной крепи; 4 – консольный конвейер; 5 – очистной комбайн; 6 – ленточный конвейер; 7, 8 – рельсовый путь; 9 – перегружатель

Авторами разработан способ селективной выемки угольного пласта сложного строения (с прослоями угля, содержащего повышенные концентрации ценных элементов, например, платины) и очистной комбайн, с помощью которого этот способ может быть осуществлен [6]. Схема подготовки выемочного столба и расстановки оборудования показана на рис.1.

Основой технологической схемы селективной выемки является работа специального очистного

комбайна с рамы консольного скребкового конвейера. Очистной комбайн оригинальной конструкции, разработанный в ИУ СО РАН, содержит корпус, установленный на раме с лапами, к боковой поверхности корпуса со стороны угольного массива прикреплены два режущих телескопических исполнительных органа избирательного действия, ориентированных параллельно оси корпуса комбайна во взаимно противоположных направлениях и установленных с возможностью поворота в вертикальной плоскости (вверх и вниз) и в горизонтальной плоскости (в сторону угольного массива от корпуса комбайна) (рис. 2). С завальной стороны к корпусу приварены две площадки симметрично поперечной оси корпуса на уровне выше рамы, предназначенные для размещения на них машиниста и помощника машиниста комбайна. В пространстве между исполнительными органами перпендикулярно продольной оси корпуса установлен двусторонний погрузочный лоток с нагребающими лапами, снабженный ленточным перегружателем, рабочая ветвь ленты которого движется от угольного массива в сторону выработанного пространства (завала). Под корпусом и над рабочей ветвью ленты перегружателя с возможностью перемещения в вертикальной плоскости прикреплен плужковый сбрасыватель. Очистной комбайн установлен на раме забойной части консольного скребкового конвейера.

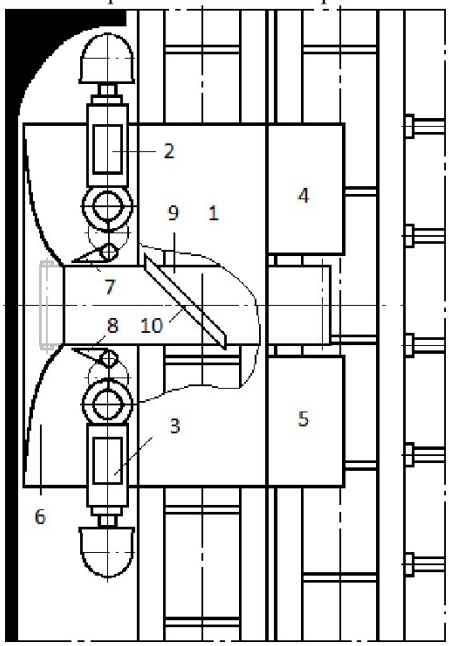

Рис. 2. Очистной комбайн для селективной выемки угольного пласта сложного строения (вид в плане): 1 – корпус; 2, 3 – режущий исполнительный орган избирательного действия; 4, 5 – площадка; 6 – лоток; 7, 8 – нагребающая лапа; 9 – ленточный перегружатель; 10 – плужковый сбрасыватель

Концепция селективной выемки [5] предусматривает не только раздельную выемку однородных по составу слоев угольного пласта, но и раздельную же выдачу на дневную поверхность различных по составу потоков горной массы и последующую их переработку и потребление. Если раздельную выемку различных по составу слоев угольного пласта осуществляют исполнительными органами избирательного действия, то разделение потоков отбитой горной массы осуществляют перегружателем с плужковым сбрасывателем и консольным скребковым конвейером. Последний, хотя и занимает большую площадь, чем традиционный забойный скребковый конвейер, но обеспечивает транспортирование в противоположных направлениях сразу двух различных по составу потоков горной массы.

Селективная выемка пологого угольного пласта сложного строения осуществляется очистным комбайном по двухсторонней (челноковой) схеме. В исходном положении погрузочный лоток очистного комбайна находится в нише. Секции крепи задвинуты, перекрывая кровлю очистного забоя.

Очистной комбайн, двигаясь от конвейерного штрека к вентиляционному, раздельно вынимает полосу угля и прослоев. Сначала вынимают нижнюю пачку угля у почвы пласта на глубину, равную ширине погрузочного лотка, и вдоль очистного забоя – на величину телескопичности стрелы режущего исполнительного органа (рис. 3). Отбитый уголь нижней пачки нагребающей лапой направляется на ленту перегружателя. Поскольку это уголь, то помощник машиниста опускает плужковый сбрасыватель до соприкосновения с лентой перегружателя – отбитый уголь нижней пачки сбрасывается с ленты перегружателя в забойный лоток консольного скребкового конвейера. Затем отбитый уголь нижней пачки консольным конвейером транспортируется до конвейерного штрека, где его перегружают на рабочую ветвь телескопического ленточного конвейера и далее средствами магистрального транспорта он выдается на поверхность.

После выемки нижней пачки угля приступают к выемке прослоя. При этом плужковый сбрасыватель переводят в верхнее положение – отбитая горная масса прослоя перегружателем направляется в завальный лоток консольного скребкового конвейера. В завальном лотке отбитая горная масса транспортируется скребками к вентиляционному штреку, где перегружателем направляется, например, в вагонетки, которыми и выдается на поверхность.

При выемке средней угольной пачки опускают плужковый сбрасыватель – отбитый уголь транспортируется к конвейерному штреку, а при выемке следующего прослойка плужковый сбрасыватель поднимают – отбитая горная масса транспортируется к вентиляционному штреку и там, в зависимости от содержания ценных компонентов, может быть погружена в ту же вагонетку или в другую. Аналогичным образом поступают и с прослоем угля, содержащего платину. Этот уголь

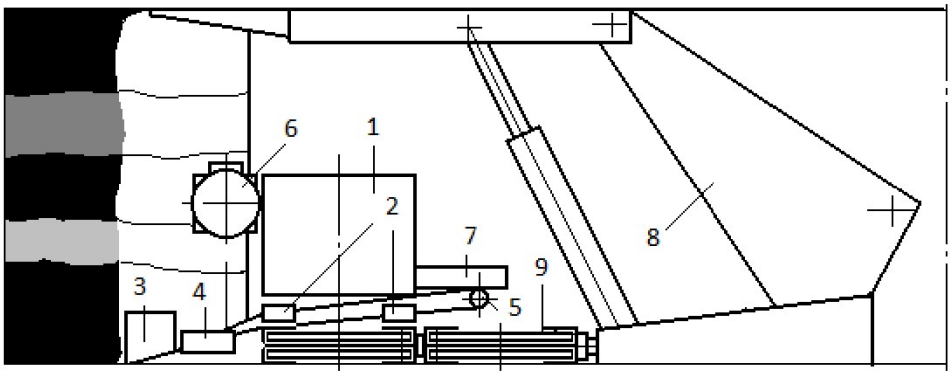

Рис. 3. Схема расстановки оборудования в очистном забое (поперечное сечение)
1 – корпус очистного комбайна; 2 – лапы; 3 – лоток; 4 – нагребающая лапа; 5 – ленточный перегружатель; 6 – режущий исполнительный орган избирательного действия; 7 – площадка; 8 – секция механизированной крепи; 9 – консольный конвейер

может быть направлен на поверхность отдельным потоком, например рельсовым транспортом.

После выемки всех слоев очистной комбайн передвигают вдоль очистного забоя и повторяют выемку пласта в том же порядке до тех пор, пока очистной комбайн не выйдет на вентиляционный штрек. По мере продвижения очистного комбайна вдоль очистного забоя вслед за ним осуществляют передвижку секций крепи, до минимума сокращая площадь и время обнажения кровли. На сопряжении очистного забоя с вентиляционным штреком комбайн выполняет работы по формированию верхней ниши (в том же порядке выемки угольных пачек и прослоев), а после передвижки консольного конвейера и задвижки последних секций крепи приступают к выемке полосы в том же порядке.

Таким образом, за счет применения очистного комбайна с режущим исполнительным органом избирательного действия достигается раздельное воздействие на угольные пачки и прослои пласта; за счет использования в конструкции комбайна двухстороннего погрузочного органа с нагребающими лапами исключается необходимость разворачивать комбайн; за счет применения в конструкции комбайна поперечного ленточного перегружателя с плужковым сбрасывателем достигается разделение потоков угля и горной массы прослоев по соответствующим транспортным цепочкам, причем, они могут быть так же разделены в зависимости от очередности их выемки в порядке отработки слоев. Кроме того, использование такого комбайна позволяет организовать селективную выемку полосы за один проход очистного комбайна вдоль очистного забоя, за счет чего значительно сокращается время и площадь обнажения кровли в очистном забое.

Далее уголь из слоя с повышенными концентрациями платины направляют на энергетическое предприятие, например ТЭЦ, обособленной поставкой для выработки энергии и попутного извлечения платины и других ценных компонентов.

Идея попутного извлечения платины на энергетическом предприятии основана на том, что платина при сжигании угля взаимодействует с химически активными веществами с образованием соединений, меняющих свое агрегатное состояние при нагревании более определенной температуры. Эту гипотезу подтверждают научные исследования состава кузнецких углей [3]: содержание платины в угольной пробе в пересчете на золошлаковую массу (ЗШМ) не соответствует ее содержанию в реальной золе, полученной после сжигания этой пробы (в реальной золе содержание платины значительно меньше, чем в расчетном ЗШМ). Таким химически активным веществом является фтор. В составе угольного вещества всегда присутствует некоторое количество фтора в виде его соединений, например, с кальцием (CaF_2), которые при нагревании распадаются. Металлическая платина реагирует с газообразным фтором с образованием гексафторида платины, который кипит при температуре 68ºС [7], и таким образом переходит в газообразное состояние.

Современные энергетические котельные агрегаты, вырабатывающие водяной пар высокого давления, например ТП-87-1 (Е 420-14-56-Ж) Таганрогского котельного завода, комплектуются двумя системами пылеприготовления с промежуточным бункером, каждая из которых включает оборудование, схематично изображенное на рис.4 позициями с 1 по 31.

Попутное извлечение платины из энергетического угля базируется на возврате неготовой пыли (более тяжелой и крупной) после сепаратора 8, который выводят из системы пылеприготовления и направляют в тракт топливоподачи водогрейного котла [8]. При этом в одной из пылесистем энергетического котла линию 9 возврата пыли от сепаратора переключают на смеситель 35 и включают в работу линию по брикетированию угля и сжиганию брикетов.

В инерционном сепараторе отделяются не только пылинки не готовые для сжигания из-за размеров, превышающих регламентные размеры сжигаемой пыли, но и все частицы пыли, имеющие в своем составе значительно более тяжелые

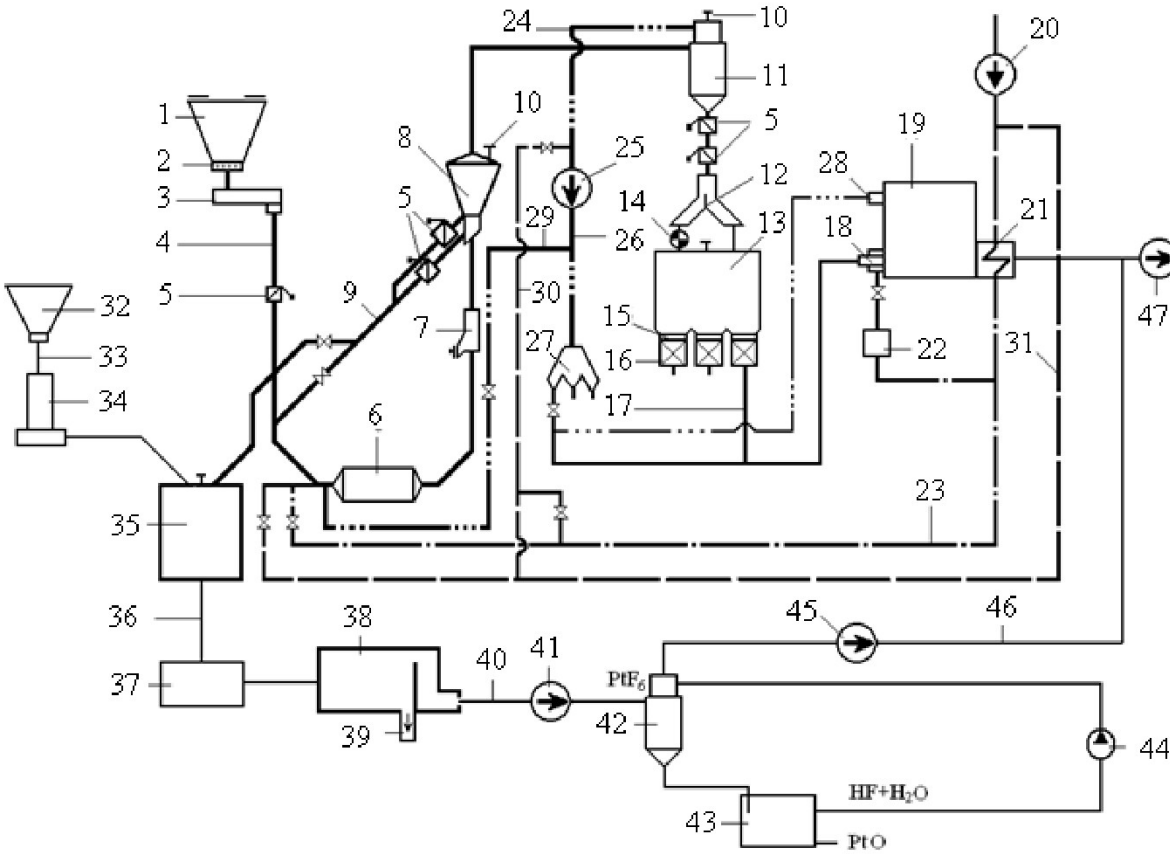

Рис. 4. Схема системы пылеприготовления и выделения угольной пыли с повышенным содержанием платины

1 – бункер сырого угля; 2 – штыревой шибер; 3 – шнековый питатель; 4 – течка; 5 – клапан-мигалка; 6 – шаровая барабанная мельница; 7 – щепоуловитель; 8 – сепаратор; 9– течка возврата уноса; 10 – взрывной клапан; 11 – циклон; 12 – перекидной шибер; 13 – бункер пыли; 14 – реверсивный шнек; 15 – шибер; 16 – питатель пыли; 17 – пылепровод; 18 – горелка; 19 – топка котла; 20 – дутьевой вентилятор; 21 – воздухоподогреватель; 22 – короб горячего воздуха; 23 – воздухопровод; 24 – короб; 25 – мельничный вентилятор; 26 – напорный воздухопровод; 27 – распределитель пыли; 28 – сбросная горелка; 29 – рециркуляционный воздухопровод; 30, 31 – воздуховод; 32 – бункер; 33 – течка; 34 – мельница; 35 – смеситель; 36 – течка; 37 – установка брикетирования; 38 – водогрейный котел; 39 – шлаковый бункер; 40 – газопровод; 41 – дымосос; 42 – гидроциклон; 43 – осадитель; 44 – насос; 45 – дымосос; 46 – напорный газопровод; 47 – дымосос

элементы (Fe, Pt, и др.). Следовательно, по течке 9 в смесительную камеру будет поступать рудный концентрат, обогащенный более тяжелыми элементами. В смесительной камере рудный концентрат тщательно перемешивают с пылевидным флюоритом и направляют на брикетирование.

Полученные брикеты сжигают в слоевой топке водогрейного котла. При этом на колосниковой решетке при высокой температуре горения слоя флюорит (CaF_2) распадается с выделением химически очень активных атомов фтора. Атомы фтора взаимодействуют с компонентами, входящими в состав угольных брикетов, в том числе и с платиной, с образованием летучих соединений, например, PtF_6 (гексафторид платины), и тяжелых соединений с железом, например FeF_3 (фторид железа), и другими металлами, удаляемых из топки в виде шлака.

Летучие соединения фтора с платиной в составе уходящих дымовых газов отсасывают из котла дымососом 41 и направляют тангенциально в гидроциклон, в который также подводят воду с пониженной температурой. За счет тангенциального ввода газообразные продукты сгорания прижимаются к стенкам циклона, по которым стекает вода. Газообразные продукты сгорания охлаждают водой, стекающей по стенкам гидроциклона до температуры ниже конденсации PtF_6. Поскольку PtF_6 – это кристаллическое вещество, обладающее высокой гигроскопичностью и растворимостью, гексафторид платины растворяется в воде. Образование слабого раствора плавиковой кислоты (HF) и оксидов платины, с большей плотностью, чем раствор плавиковой кислоты, обусловливает выпадение оксидов платины в осадок. Из гидроциклона жидкая составляющая в виде пульпы поступает в осадительную камеру, где расслаивается и может быть разделена на слабый водный

раствор плавиковой кислоты и оксиды платины – сырье для восстановления платины.

Водный раствор плавиковой кислоты повторно направляют в гидроциклон насосом 44 и т.д. до тех пор, пока ее концентрация не достигнет промышленного значения. В этом случае полученную плавиковую кислоту реализуют как товар, циркуляционный контур переводят на резервную осадительную емкость и новый объем циркулирующей в системе воды. Очищенные от летучих соединений платины с фтором и охлажденные продукты сгорания дымососом 45 подмешивают к относительно горячим продуктам сгорания топлива энергетического котла и через дымовую трубу сбрасывают в атмосферу. Очаговые остатки, скапливающиеся в шлаковом бункере, направляют на извлечение из них ценных компонентов, например Fe.

Таким образом, технология единого теплоэнергетического производственного цикла с попутным извлечением платины и других ценных компонентов при сжигании углей включает:

- детальное изучение структуры и вещественного состава угольного пласта на предмет наличия в нем повышенных концентраций платины;
- организацию раздельной (селективной) выемки угля;
- обособленную поставку угля с повышенным содержанием платины на углесжигающее предприятие;
- выделение платиносодежащей фракции угля при сепарировании угольной пыли;
- обогащение угля рудными компонентами;
- присадку флюоритовой пыли к рудному концентрату и последующее брикетирование;
- сжигание брикетов на колосниковой решетке слоевой топки котла;
- улавливание летучих соединений платины с фтором;
- контактное охлаждение летучих соединений платины с фтором технологической водой с переводом соединений платины в твердую фазу, пригодную для переработки при получении металлической платины;
- получение плавиковой кислоты – товарного продукта;
- выведение из топки шлака, полученного от сжигания угольных брикетов, для последующей переработки (рециклинга) шлака в качестве сырья для получения других ценных компонентов, например, Fe.

Представленное техническое решение селективной выемки угля и его переработки обеспечивает осуществление комплексного освоения угольного месторождения – добычу не только основного полезного ископаемого, но и других ценных сопутствующих компонентов. Оно меняет представление об энергетическом угле как о топливе, предназначенном только для выработки тепловой энергии в топках котлов. Энергетический уголь это также сырье, перерабатывая которое можно дополнительно получить более ценную продукцию, в частности, плавиковую кислоту, оксиды платины, железную руду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Варшал Г. М.* и др. Механизм концентрирования платиновых металлов в углях месторождения Кайеркан близ Норильска: по данным модельных и натурных экспериментов // [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://geo.web.ru/conf/khitariada/2-2000.2/hydrotherm_1.pdf. – Дата доступа 21.03.2013 г.

2. *Ковалев С. Г., Фаткуллин И. Р.* Первые данные о «нетипичной» геохимической специализации бурых углей Южноуральского бассейна // [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www2.anrb.ru/geol. – Дата доступа 21.03.2013 г.

3. *Нифантов Б. Ф., Анферов Б. А., Кузнецова Л. В.* О содержании платины в пластах кузнецких углей // Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых: мат. Междунар. конф. г. Томск, 2010, 5-8 окт. – С. 358-359.

4. Металлы платиновой группы // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mineral.ru/Facts/russia/131/286/index.html. – Дата доступа 21.03.2013 г.

5. *Нифантов Б. Ф., Анферов Б. А., Кузнецова Л. В.* Угли Кузбасса: химические элементы-примеси и технологии их извлечения при комплексном освоении месторождений. – Кемерово: ИУ СО РАН, 2011. – 310 с.

6. *Анферов Б. А., Кузнецова Л. В.* Пат. 2436954 Российской Федерации, МПК E21C 41/18, E21C 27/22. Способ селективной выемки угля и комбайн для его осуществления; заявитель патентообладатель ИУУ СО РАН. – № 2009142177; заявл. 16.11.2009; опубл. 20.12.2011, бюл. № 35. – 8 с.

7. *Нараи-Сабо И.* Неорганическая кристаллохимия. – Будапешт: Изд. АН Венгрии, 1969. – 233 С.

8. *Нифантов Б. Ф., Анферов Б. А., Кузнецова Л. В.* Пат. 2448250 Российской Федерации, МПК E21C 41/18, C22B 11/00. Способ комплексного освоения месторождения энергетических углей; заявитель патентообладатель ИУ СО РАН. – № 2010141233; заявл. 07.10.2010; опубл. 20.04.2012, бюл. № 11. – 7 с.

Авторы статьи:

Анферов
Борис Алексеевич ,
канд. техн. наук, вед. науч. сотр.
Института угля СО РАН, доц. каф.
теплоэнергетики КузГТУ.
Тел. 8-906-989-5508.

Кузнецова
Людмила Васильевна,
канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Института угля СО РАН.
Тел.: 8(384-2) 741-741.