

УДК 697.32

И. О. Баранов

(старший преподаватель кафедры «Логистическое управление и безопасность движения на транспорте» Восточного украинского национального университета имени Владимира Даля, г. Северодонецк)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

Запропонована технологія виробництва водовугільного палива, на основі вугільних шламів, дозволяє реанімувати і зберегти природні ресурси і забезпечити використання неліквідної паливної сировини в паливно-енергетичному комплексі України.

Сутність процесів приготування водовугільного палива полягає в подрібненні вугільних часток, збагачених методом масляної агломерації, одночасно зі змішуванням їх з водою і реагентом-пластифікатором в кульовому млині. Встановлено, що подрібнення великих класів вугілля йде безперервно, зміст середніх класів в початковий період помелу зростає, а до кінця подрібнення помітно знижується. Отже, на швидкість подрібнення істотно впливає крупність вихідного вугілля.

У даній статті розглянута технологія приготування водовугільного палива з вугільних шламів Донецького басейну та запропоновано спосіб покращення його властивостей. Виконаний аналіз різних способів подрібнення вугілля в єдиному циклі виробництва ВВП дозволив визначити найменш енерговитратні технології отримання даного палива.

Ключові слова: *паливо, приготування, вугільний шлам, подрібнення, стійкість, властивості, агломерація.*

Предложенная технология производства водоугольного топлива, на основе угольных шламов, позволяет реанимировать и сохранить природные ресурсы и обеспечить использование неликвидного топливного сырья в топливно-энергетическом комплексе Украины.

Сущность процессов приготовления водоугольного топлива заключается в измельчении угольных частиц, обогащенных методом масляной агломерации, одновременно со смешиванием их с водой и реагентом-пластификатором в шаровой мельнице. Установлено, что измельчение крупных классов угля идет непрерывно, содержание средних классов в начальный период помола возрастает, а к концу измельчения заметно снижается. Следовательно, на скорость измельчения существенное влияние оказывает крупность исходного угля.

В данной статье рассмотрена технология приготовления водоугольного топлива из угольных шламов Донецкого бассейна и предложен способ улучшения его свойств. Выполненный анализ различных способов измельчения угля в едином цикле производства ВУТ позволил определить наименее энергозатратные технологии получения данного топлива.

Ключевые слова: *топливо, приготовление, угольный шлам, измельчение, устойчивость, свойства, агломерация.*

© Баранов И. О., 2016

Постановка проблеми. Устойчивое развитие топливно-энергетического комплекса Украины тесно связано с использованием альтернативных видов топлива, которые являются наиболее целесообразными и экономически эффективными для энергетики страны в современных сырьевых условиях. В настоящее время прогнозируется повышение роли угля в энергетике Украины, что обусловлено его крупными запасами, недостатком месторождений нефти и газа и их высокой себестоимостью. В тоже время экологические проблемы, возникающие при использовании угольного топлива, требуют разработки и внедрения новых ресурсосберегающих с экономической и экологической точек зрения угольных технологий, которые обеспечат существенный экологический эффект с максимально высокой полнотой использования добываемого топлива [1-4]. Особенно остры эти проблемы для угольных областей Украины, таких как Донбасс, испытывающих недостаток в экологически чистых природных энергоносителях и нуждающихся в снижении зависимости от дорогих угольных ресурсов теплоэнергетики. Кроме того, вокруг многих угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий в гидроотвалах и отстойниках скапливается большое количество добываемого угля, представленного в виде тонкодисперсных угольных шламов, перевод которых в технологически приемлемое топливо позволит не только улучшить экологическую обстановку в регионах, но и получить существенный экономический эффект, так как себестоимость данного топливного сырья практически равна нулю и способствует максимальному снижению затрат на производство топлива в условиях ресурсосберегающей концепции развития Украины [3-8].

Наличие шламонакопителей, наружных отстойников и гидроотвалов в Донбассе приводит к загрязнению земли, воды и воздуха и исключению (потере) этих природных ресурсов. Кроме того, миллионы тонн угольных шламов, хранящихся в этих сооружениях, исключены из производственного цикла, хотя могли бы использоваться для вторичной переработки с получением товарных угольных продуктов таких как брикеты, пеллеты, водоугольное топливо (ВУТ).

Получаемое топливо должно отвечать жестким требованиям современного рынка: стабильность основных технологических характеристик, задаваемых потребителем, рентабельность производства и минимально возможное негативное экологическое воздействие на окружающую среду при его получении и использовании.

В связи с этим становится актуальным использование шламов в виде водоугольного топлива, разработка эффективных процессов получения и применения которых должна базироваться на научно обоснованных процессах физического и физико-химического воздействия на исходный уголь с учетом свойств его органической и минеральной составляющих.

Анализ последних исследований и публикаций. Для ВУТ применяемого в процессе прямого сжигания в котлоагрегатах, существуют оптимальные пределы изменения основных характеристик: максимальная крупность частиц не более 350 мкм. при остатке на сите 90 мкм. не более 25-30%, массовая доля твердой фазы 57-63%, вязкость при скорости сдвига 100 с^{-1} не более 0,8 Па с. при перекачке по трубопроводу и 1,6 Па с. при перевозке автомобильным или железнодорожным транспортом, низшая теплота сгорания не менее 3200 ккал/кг и стабильность не менее 30 суток [6].

Негативной особенностью ВУТ является наличие инертной среды – воды, понижающей его качественные характеристики. Полностью компенсировать влияние воды на качество ВУТ не возможно, однако частично снизить это влияние можно путем выбора наиболее оптимального исходного угля. Исходный уголь должен обладать высокой теплотой сгорания, повышенным содержанием летучих веществ, большим содержанием углерода (малой зольностью). Высокая теплота сгорания повышает значение низшей теплоты сгорания ВУТ. Большое содержание летучих веществ и угле-

рода делает ВУТ высокорекреационным для преодоления негативного воздействия влаги, что в конечном итоге сказывается на стабильности горения.

Применение углей (угольных шламов) с высокой теплотой сгорания (антрациты) малоприспособно из-за невысокого содержания летучих веществ. С другой стороны применение углей низкой стадии метаморфизма, имеющих высокое содержание летучих веществ и высокую реакционную способность, также практически недопустимо для приготовления ВУТ из-за невысокой теплоты сгорания. Существующие методы применения этих углей для технологии ВУТ (термическая, гидротермическая, барометрическая и др.) существенно дороги из-за их сложности и высокой энергоёмкости.

Указанным требованиям могут удовлетворять угли и угольные шламы марок Д и Г Донецкого бассейна [7]. Также пригодны угольные шламы марки СС. Запасы этих углей весьма велики, кроме того, в гидроотвалах и шламоотстойниках сосредоточено большое количество тонкодисперсных угольных шламов этих марок, применение которых в качестве исходного сырья для приготовления ВУТ позволит получить высокий экономический и экологический эффекты.

Цель статьи – усовершенствование технологии приготовления водоугольного топлива путем использования эффективных методов измельчения и обеззоливания угольных шламов и улучшения свойств топлива.

Изложение основного материала исследования. Все исходные угольные шламы имеют высокую зольность и для прямого использования в технологии ВУТ не годятся. В связи с этим необходимо проверить соответствие зольности угольных шламов с табличными данными, найти относительные ошибки экспериментальных данных и определить гранулометрический состав исходных шламов с выявлением закономерности распределения зольности по классам и выполнить соответствующую их обработку.

Сущность процессов приготовления ВУТ заключается в измельчении угольных частиц, обогащенных методом масляной агломерации [8], одновременно со смешиванием их с водой и реагентом-пластификатором в шаровой мельнице. Приготовление ВУТ из угольных шламов осуществляется по предложенной схеме (рис. 1.).

Подготовленные угольные шламы должны пройти процесс одностадийного мокрого помола в лабораторной шаровой мельнице в присутствии реагента-пластификатора. Реагент-пластификатор (гумат натрия) добавляется в шаровую мельницу в количестве 1% к массе сухого угольного шлама. Через заданные промежутки времени производится отбор проб, в которых определяется гранулометрический состав путем мокрого просеива на ситах 30, 60, 120, 240, 480 мкм и зольность угольных частиц.

Анализ полученных результатов показывает, что измельчение крупных классов угля идет непрерывно, содержание средних классов в начальный период помола возрастает, а к концу измельчения заметно снижается (рис. 2.). Содержание мелких классов в процессе измельчения постоянно увеличивается. Следовательно, на скорость измельчения существенное влияние оказывает крупность исходного угля. В процессе дробления это влияние уменьшается, причем для более крупного класса быстрее, чем для более мелкого.

В процессе развития технологии производства ВУТ были опробованы различные типы измельчителей и в настоящее время в процессе производства ВУТ в промышленных условиях предпочтение отдается барабанным мельницам мокрого измельчения, таких как стержневые и шаровые мельницы. Достоинствами барабанных мельниц (особенно шаровых) являются: возможность организации непрерывного производственного процесса, возможность увеличения размера конструкций по запросам массового производства ВУТ, конструкция этих мельниц и условия их функционирования также как и форма мельницы, набор и сочетание размеров шаров, скорость вращения

мельницы, количество шаров или стержней, концентрация измельченного угля легко совместимы с распределением крупности частиц и необходимой энергии для дробления. Шаровые мельницы мокрого измельчения, являются не только измельчителями, но и эффективными перемешивающими устройствами.



Рис. 1. Схема получения ВУТ на основе угольных шламов

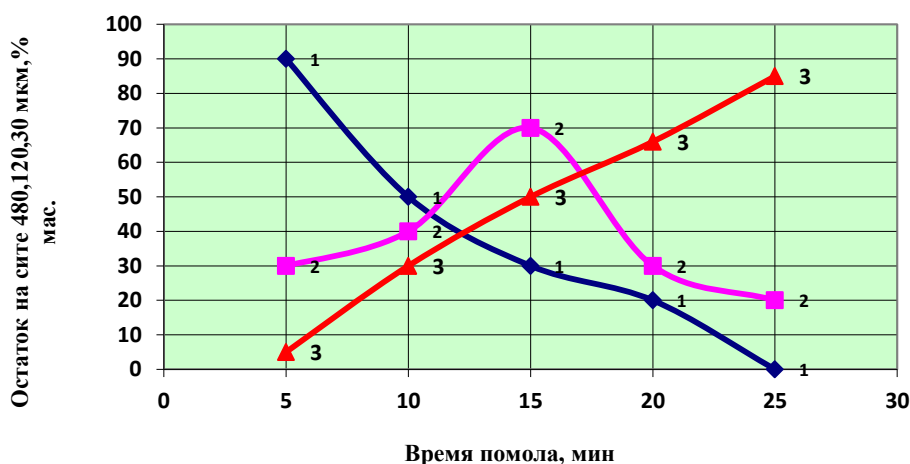


Рис. 2. Кинетика мокрого помола частиц угля в зависимости от длительности измельчения в мельнице: 1 -120 – 480 мкм; 2 –30 – 120 мкм; 3 – 0 – 30 мкм

Выполненный анализ различных способов измельчения угля в едином цикле производства ВУТ позволил определить наименее энергозатратные технологии получения ВУТ, некоторые из них приведены в табл. 1.

Таблиця 1. Сводная таблица энергопотерь

№ з/п	Технология измельчения угля (тип мельницы)	Удельные энергозатраты (%)	Энергоемкость приготовления ВУТ (кВт ч/т)
1	Шаровая, стержневая мельницы	51,12	36 – 50,4 кВт ч/т
2	Вертикальная валковая мельница (МВС, ОК)	13,08	9,2 – 14 кВт ч/т
3	Гидроударный узел мокрого помола (ГУУМП)	14,3	Менее 10 кВт ч/т
4	Дезинтегратор	14,3	≈ 10 кВт ч/т
5	Кавитационные аппараты	7,2	5 – 20 кВт ч/т

Технологические свойства углей, используемых при получении ВУТ, в значительной мере определяются их надмолекулярной структурой, а также состоянием поверхностных ионогенных групп, ответственных за энергетическое состояние угольной поверхности при ее взаимодействии с окружающей средой. Контакт угля с водой и реагентом – пластификатором при мокром помоле приводит к существенным изменениям поверхностных свойств углей. Интенсивные ионообменные процессы, сопровождающиеся образованием на угольной поверхности двойного электрического слоя ионов, фактически приводят к усилению взаимодействия угольной фазы топлива с водой.

Наиболее важной задачей стоящей перед исследователями является создание ВУТ устойчивого к нарушению гомогенности. Устойчивость топлива зависит от многих факторов, например, таких как дисперсность угольных частиц, степень их окисления, характер взаимодействия частиц дисперсной фазы и дисперсионной среды, сольватация и т.д. Улучшить свойства ВУТ и предать ему большую устойчивость можно путем введения в систему стабилизирующих добавок – реагентов-пластификаторов, действие которых связано с образованием адсорбционных слоев на поверхности твердой фазы. Сольватные слои, образующиеся при адсорбции стабилизатора, препятствуют слипанию и агрегированию частиц, т.е. способствуют их седиментационной устойчивости [9-11].

В наше время создание оптимального водоугольного топлива связано с поиском универсальных реагентов или их композиций, которые одновременно выполняли бы функции реагента, ингибитора, разжижителя и стабилизатора.

В работе был проведен анализ и поиск наиболее эффективных реагентов-пластификаторов ВУТ. Был изучен опыт использования следующих легкодоступных реагентов: желатина, карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), лигносульфоната (ЛСТ) и гумата натрия [10].

Применение в качестве стабилизатора гуминового препарата (гумата натрия) позволяет получить стабильное ВУТ с практически не изменяющимися во времени реологическими характеристиками. Стабильность ВУТ является максимальной при использовании от 1 % гумата натрия к массе угля (рис.3.).

Сырье для получения гумата натрия легко доступно (бурые угли, торфы, окисленные каменные угли, возможно применение осадочных илов водоочистных произ-

водств), технологія получения является комплексной с низкими затратами на производство. Согласно требованиям к ВУТ, предназначенному к прямому сжиганию в котлоагрегатах, является важным определить вязкость полученного топлива, по значениям которой можно сделать выводы о его реологических характеристиках [12].

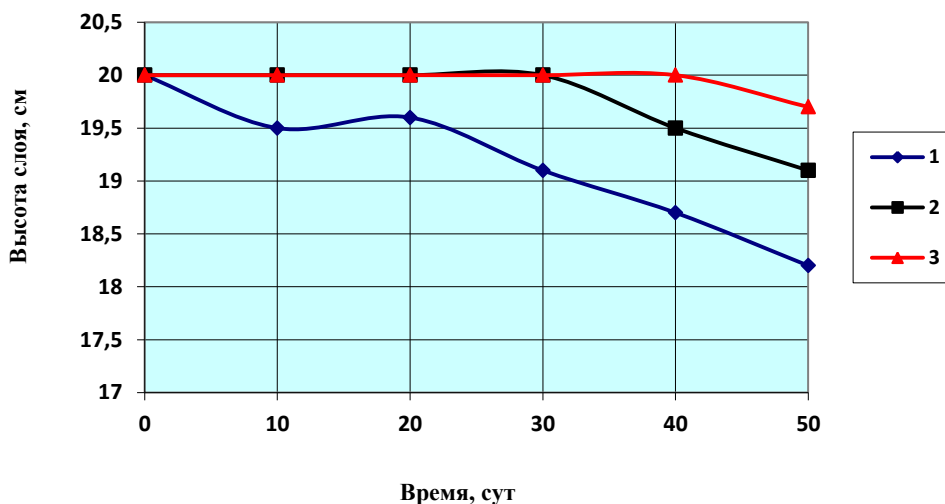


Рис. 3. Зависимость слоя дисперсной фазы от времени: 1 – 0,5% к массе угля; 2 – 1,0% к массе угля; 3 – 2,0% к массе угля

Выводы и предложения. Выполненный анализ технологий производства ВУТ показал, что указанным требованиям могут удовлетворять угли и угольные шламы марок Д и Г Донецкого бассейна, также пригодны угольные шламы марки СС. Запасы этих углей весьма велики, их себестоимость достаточно низка, что позволяет получить высокий экономический и экологический эффекты от использования этих топливных ресурсов в энергетике в рамках ресурсосберегающей концепции развития Украины.

Важной вехой в изменении экологической обстановки Украины является возможность утилизации угольных шламов и низкосортных угольных топлив, которые выполняют роль избыточных ресурсов и несут негативные последствия для экологии Украины. Предложенная технология производства водоугольного топлива на основе угольных шламов, позволяет реанимировать и сохранить природные ресурсы и обеспечить использование неликвидного топливного сырья в топливно-энергетическом комплексе Украины.

Из полученных данных видно, что наилучшими реологическими характеристиками обладает ВУТ с добавками гумата натрия (вязкость при скорости сдвига 100 c^{-1} не более $0,8 \text{ Па} \cdot \text{с}$). После весьма длительного хранения (более 30 суток) ВУТ постепенно сжималось с образованием рыхлых осадков, выделяя жидкую фазу, содержащуюся в его структуре. Предположительно, это результат коагуляционной перегруппировки частиц, число контактов которых очевидно увеличивается, что и приводит к сжатию ВУТ и «выжиманию» из него дисперсионной среды.

Повторные эксперименты анализа стабильности ВУТ показали, что стабильность с добавками ЛСТ и КМЦ снизилась. Тогда как, в ВУТ с добавкой гумата натрия ее значения остались неизменными.

В определенной степени ВУТ, приготовленное с добавкой гумата натрия, сохраняет существовавшую при его образовании внутреннюю структуру. Таким образом, механизм структурообразования данного ВУТ отличен от топлив приготовленных с другими добавками. Следовательно, в дальнейшем будет исследован характер процесса адсорбции реагента гумата натрия на поверхности угольного шлама.

При внедрении менее энергозатратных методов получения ВУТ, значение энергопотерь на транспортирование увеличивается, что обуславливает необходимость продолжить работы в указанном направлении, кроме этого следует обратить внимание на оптимизацию режимов работы нагнетателей с характеристиками гидротранспортной системы, что обеспечит дополнительную экономию гидроэнергетических ресурсов связанных с функционированием комплексной системы использования ВУТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экология и промышленность. // Ежеквартальный научно-производственный журнал. – 2013. – Вып. 2 (35), г. Харьков. – С. 15-21.
2. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. –№ 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – access Mode: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3\(7\)_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
3. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
4. Фомін, О.В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції / О.В. Фомін // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76
5. «Уголь». // Ежемесячный научно-технический и производственно-экономический журнал. – 12-2012. – Вып. 1041, г. Москва. – С. 48-54.
6. Производство и использование водоугольного топлива: підручник / В.Е. Зайденварг, К.Н. Трубецкой, В.И. Мурко, И.Х. Нехороший. – М.: Академия горных наук, 2001. – 176 с.
7. Требования для углей и угольных шламов марок Д и Г Донецкого бассейна [Электронный ресурс]. Угольная продукция – Режим доступа: <http://www.ueex.com.ua/rus/auctions/coal/manual>.
8. Клейн, М. С. Кинетическая модель процесса масляной агломерации / М. С. Клейн // Вестник Кузбасского Государственного технического университета. – К., 2003. – Вып. 6. – С.74-80.
9. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів / О.В. Фомін // Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського». – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вып. 6(83). – С. 87-91.
10. Мурко В.И. Научные основы процессов получения и эффективного применения водоугольных суспензий: дис. д-ра техн. Наук : 05.17.07 / Мурко Василий Иванович ; Новокузнецкое государственное научно-производственное предприятие «Экотехника». – Н., 1999. – 289 с. – Библиогр.: с. 172- 216.
11. Сергеев, П. В., Белецкий, В. С. Селективная флокуляция угольных шламов органическими реагентами: Монография / П. В. Сергеев., В. С. Белецкий. – Д. : Восточный издательский дом, 2010. – 240 с.
12. Делягин, Г. Н., Корнилов, В. В., Кузнецов, Ю. Д., Чернегов, Ю. А. Совершенствование водоугольного топлива и перспектива его применения / Г. Н. Делягин, В. В. Корнилов, Ю. Д. Кузнецов, Ю. А. Чернегов // Приложение к научно-техническому журналу «Экономика топливно-энергетического комплекса России». – М., 1993. – ВНИИОЭНГ. – С. 31.

Igor Baranov

(Senior Lecturer of Logistics Management and Traffic Safety Vehicle Department Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University)

IMPROVING COAL-WATER FUEL PREPARATION TECHNOLOGY

The proposed coal-water fuel production technology, based on the coal slurry, allows revive and conserve natural resources and ensure use non-liquid fuel feedstock in fuel

and energy complex of Ukraine. The analysis different ways crushing of coal in single cycle coal-water fuel production allowed us to determine least energy-intensive technology this fuel.

Summary processes preparation of coal-water fuel is coal grinding particles enriched oil agglomeration method, simultaneously with mixing them with water and reagent, a plasticizer in ball mill. Prepared coal sludge process are single-stage wet grinding in laboratory ball mill in presence of reagent-plasticizer. It was found that milling of large classes coal are continuously contents middle classes in initial period grinding is increased, and by the end grinding is markedly reduced. The content fine fractions in grinding process constantly increased. Consequently, speed of grinding is significantly affected by initial coal particle size. In an industrial environment are most effective wet grinding mill drum, such as rod and ball mills. Use as stabilizer humic preparation (sodium humate) gives stable suspension with substantially no time-changing rheological characteristics.

The article describes technology of preparation coal-water slurry of coal sludge Donets Basin, and provides method for improving properties coal-water slurries.

Object of the study – coal-water slurry of coal sludge Donets Basin. Purpose of the study – improvement technology for preparation of coal-water slurry through use effective methods grinding coal slurry and improve the properties coal-water slurries.

Method of the study – comparison, analysis and synthesis, synthesis, formalization, systematic approach.

The results can be used by scientific, engineering and management professionals involved in technology research and preparation of coal-water fuel combustion in boiler plants various enterprises in Ukraine. Forecast assumptions about the object of study – search for optimal preparation technology of coal-water slurries having desired properties use in power systems businesses.

Keywords: fuel, preparation, coal slurry, grinding, stability, properties, agglomeration.

REFERENCES

1. Ehkologiya i promyshlennost [Ecology and industry]. *Ezhkvartalnyj nauchno-proizvodstvennyj zhurnal – Quarterly Journal of Research and Production*, 2013, issue 2 (35), Kharkiv, pp. 15-21.
2. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. –№ 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – access Mode: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3\(7\)_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf)
3. Fomin, O.V. Konceptija ideal'nih kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
4. Fomin, O.V. Pidvishhennja stupenja ideal'nosti vantazhnikh vagoniv ta prognozuvannja stadij ih evoljucii [Increased ideal freight cars and forecasting stages of their evolution] [Text] / O.V Fomin // Scientific Bulletin of National Mining University. – Dnepropetrovsk: NSU, 2015. – №3. – P. 68-76 – Access: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
5. «Ugol» [Coal]. *Ezhemesyachnyj nauchno-tehnicheskij i proizvodstvenno-ehkonomicheskij zhurnal – Monthly scientific-technical and industrial-economic journal*, 12-2012, issue 1041, Moscow, pp. 48-54.
6. Zaidenvarg V.E., Trubetskoy K.N., Murko V.I., Nechoroshiy I.H. *Proizvodstvo i ispolzovanie vodougolnogo topliva* [Production and use of coal-water fuel]. – Moscow, Publishing house of the Academy of Mining Sciences., 2001. 176 p.
7. Trebovaniya dlya uglej i ugolnyh shlamov marok D i G Doneckogo bassejna (Requirements coal and coal slurries grades D and G of the Donets Basin). Ugolnaya produkcija – Coal production. Available at: <http://www.ueex.com.ua/rus/auctions/coal/manual>.

8. Klein M.S. Kineticheskaya model processa maslyanoj aglomeracii [Kinetic model of the process oil agglomeration]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Herald Kuzbass. state. tehn. Univ.], 2003, issue 6, pp. 74-80.
9. Fomin O.V. Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv / O.V. Fomin // *Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho»*. – Kremenchuk: KDPU, 2013. – Vyp. 6(83). – S. 87-91.
10. Murko V.I. *Nauchnye osnovy processov polucheniya i ehffektivnogo primeneniya vodougolnyh suspenzij* [Scientific bases of processes reception and effective use coal-water suspensions. Doct. Diss.]. Novokuznetsk, 1999. 289 p.
11. Sergeev P.V., Beletsky V.S. *Selektivnaya flokulyaciya ugolnyh shlamov organicheskimi reagentami* [Selective flocculation coal sludge organic reagents]. Donetsk, Vostochnyj izdatelskij dom Publ., 2010. 240 p.
12. Delyagin G.N., Kornilov V.V., Kuznetsov Y.D., Chernegov Y.A. Sovershenstvovanie vodougolnogo topliva i perspektiva ego primeneniya [Improving the coal-water fuel and prospect of its application]. *Prilozhenie k nauchno-tekhnicheskomu zhurnalu «Ekonomika toplivno-ehnergeticheskogo kompleksa Rossii»* [Annex to scientific and technical journal «Economics fuel and energy complex of Russia»], 1993, issue VNIIOENG, p. 31.