

УДК 621.1

Е.И. НАЗИМКО (д-р техн. наук, проф., зав. каф. ОПИ)**А.С. БУКИНА** (ст. гр. ЗКК-10)

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

ВИБРАЦИОННОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЕ ПОДГОТОВКИ ВОДО-УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

Статья посвящена анализу работы вибрационных мельниц для тонкого измельчения угля с целью приготовления водо-угольного топлива. Приведена технологическая схема подготовки водо-угольного топлива с использованием вибромельницы в качестве основного оборудования. Рассмотрены особенности работы вибромельницы в производственных условиях. Установлена повышенная энергоёмкость процесса вибрационного измельчения. Снизить энергоёмкость процесса возможно возбуждением сложных колебаний рабочего органа для создания переменной скорости движения мелющих тел. Рассмотрена конструкция перспективной вибромельницы с бигармоническим режимом работы.

Ключевые слова: водо-угольное топливо, измельчение, анализ работы, вибромельница, энергоёмкость, бигармонический режим.

Введение. К концу прошлого века мировой энергетический кризис начал приобретать угрожающий характер, так как было израсходовано [1]:

- 87% мировых запасов нефти;
- 73% мировых запасов природного газа;
- 2% мировых запасов угля.

Несмотря на значительный прогресс в области разработки технологий использования альтернативных источников энергии (солнечная энергия, энергия ветра, морских приливов и пр.), на ближайшие 30 - 40 лет основным энергетическим ресурсом остается уголь.

Основой эффективной замены дорогостоящих дефицитных экологически чистых природных энергоносителей (природного газа и нефти) на многих ТЭЦ и ГРЭС с минимальными капитальными затратами и с сохранением на требуемом уровне вредных выбросов в атмосферу в ближайшее время может стать сравнительно новый вид жидкого топлива – водо-угольное топливо.

Водо-угольное топливо (ВУТ) - дисперсная система, которая представляет собой смесь воды с частицами угля и специальными добавками. К настоящему времени определился основной состав ВУТ [2] (масс. %): уголь – 70...75, вода 24...29, присадки – до 1.

Приготовление ВУТ из шламов или рядового угля сопряжено с приданием водоугольной суспензии приемлемой вязкости и статической стабильности. Классическая схема приготовления ВУТ, разработанная ещё в СССР в середине 60-х годов, предусматривает помол угля и одновременное смешивание его с водой в шаровых/стержневых мельницах. Для придания стабильности в водо-угольное топливо добавлялись различные реагенты, которые одновременно снижали вязкость. В совокупности удавалось достичь содержания твёрдого в ВУТ до 60...65%.

Многие фирмы однозначно подтверждают возможность эффективного применения водо-угольного топлива на угольных энергоблоках. В случае перехода на сжигание ВУТ вместо угля решается ряд существующих проблем [3]:

- расширяется диапазон регулирования производительности угольных котло-агрегатов;
- резко улучшаются экологические показатели при сжигании углей;
- золошлакоудаление переводится на пневмотранспорт;

- снижается окисление (потеря калорийности) топлива во время хранения;
- отсутствуют взрыво- и пожароопасность угольной топливоподачи;
- обеспечивается возможность сжигания на одном объекте различных видов углей.

Интересными являются и такие факты: в США использование ВУТ выбрано в качестве части национальной энергетической политики, а в Японии и Китае выработка тепла и электричества на ВУТ исчисляется миллионами кВт·ч [4]. В Украине государственная политика, направленная на внедрение технологий по замещению газа на уголь и ВУТ, получила фактическое начало в 2012 году. К сожалению, для внедрения ВУТ планировалось использовать китайские технологии и оборудование [5]. Реальные успехи в данной области в настоящее время не наблюдаются.

ВУТ может быть приготовлено из углей практически любых марок: от длинно-пламенных и газовых до слабоспекающихся и даже антрацитов. Водно-угольное топливо может быть изготовлено из бурых углей марок Б3 и Б2, а также Б1. Для приготовления ВУТ может быть использована речная вода, канализационные стоки, вода угольно-шахтных предприятий и промышленные отходы [6].

Классическая схема приготовления ВУТ не изменилась с момента появления технологии и состоит из трёх этапов (рис. 1): дробление (обычно до фракции 10...13 мм), мокрый помол (обычно до фракции <100...150 мкм), классификация и гомогенизация [7]. Схема цепи аппаратов установки по приготовлению ВУТ приведена на рис. 2.

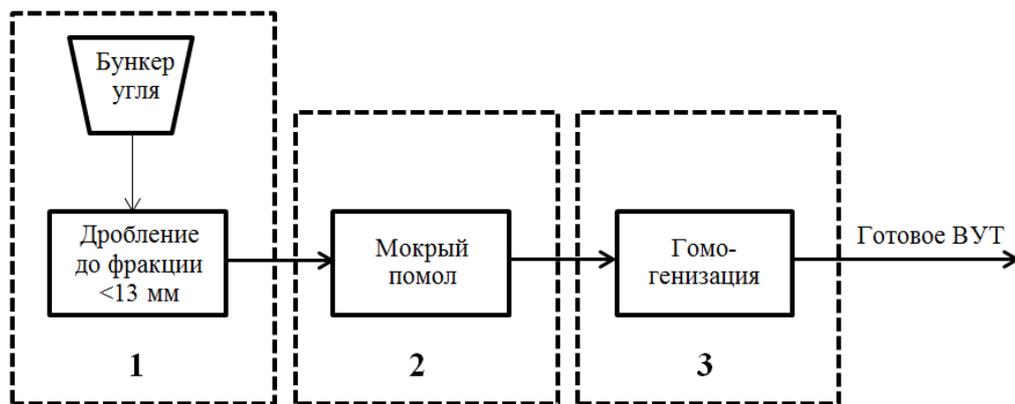


Рис. 1. Схема приготовления ВУТ

Промышленная установка производства ВУТ (рис. 2) представляет собой классификационно-измельчительный модуль, в который входят: бункер исходного продукта 1, дробилка 4 и вибромельница 9 с системами подачи и дозирования угля 2, виброгрохоты 3, 7 и гидроциклон 10 для основной и контрольной классификации, пульповые насосы 6, емкости 5.

Предварительное дробление в молотковой дробилке необходимо для получения угольной фракции менее 10...13 мм. Если в качестве сырья для приготовления ВУТ используется угольный шлам или уголь сортов «штыб» или «семечко», то данная стадия исключается из общей линии приготовления ВУТ.

Измельчение до конечной фракции (менее 100...150 мкм) осуществляется мокрым методом. Этот этап измельчения является основным при приготовлении ВУТ, поскольку именно он определяет дальнейшие характеристики ВУТ (грансостав, вязкость, стабильность и т.д.) [2, 3]. Кроме того, данный этап является и самым энергозатратным.

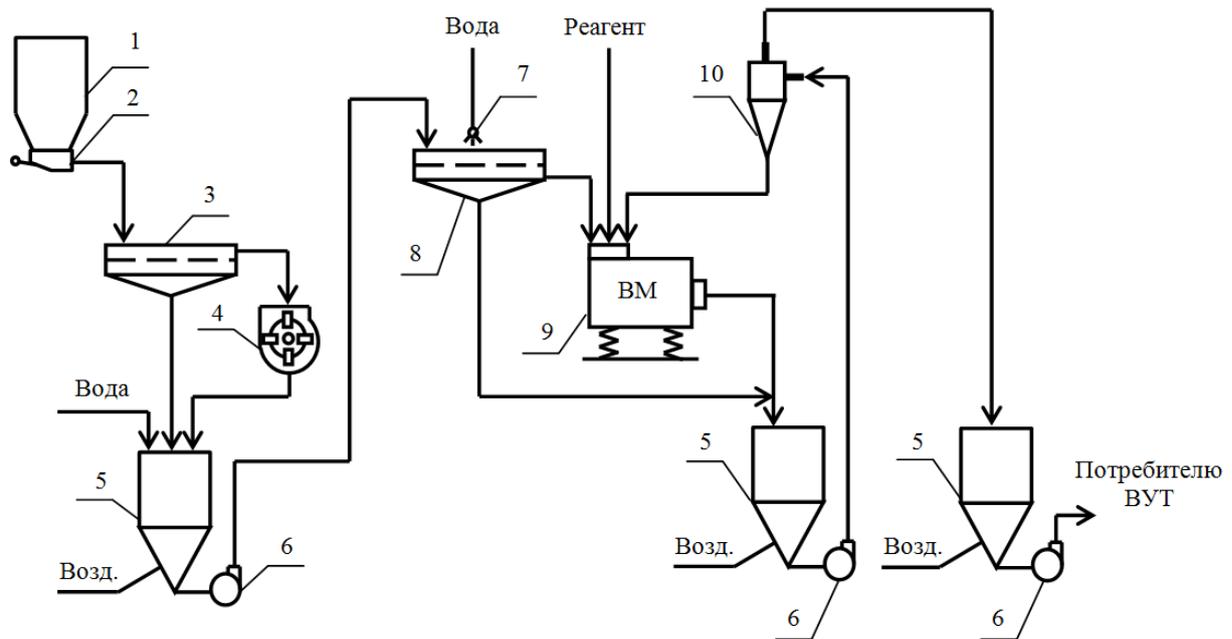


Рис. 2. Схема цепи аппаратов установки по приготовлению ВУТ:

1 – бункер исходного угля; 2 – питатель; 3 – грохот ($d=12\dots13$ мм);

4 – молотковая дробилка; 5 – емкость; 6 – насос; 7 – струйное брызгало;

8 – грохот ($d=100\dots150$ мкм); 9 – вибромельница; 10 – батарейный гидроциклон

Основными технологическими машинами в традиционных технологиях подготовки ВУТ являются шаровые или стержневые мельницы, вибромельницы, планетарные, гидроударные и кавитационные мельницы, осуществляющие измельчение сухим или мокрым способом. Мокрый помол является более экономически эффективным, ввиду того, что нецелесообразно предварительно сушить уголь, т.к. после размола он снова смешивается с водой.

Многочисленные исследования по тонкому измельчению позволяют утверждать, что наиболее эффективным средством для получения продукта с гранулометрическим составом менее 50 мкм при исходном питании крупностью 2...10 мм и относительно небольшой производительности по конечному продукту (до 10 т/ч) является вибрационная мельница [8]. В качестве мелющих тел используются стержни (в случае среднего помола, до 0,2-0,5 мм), шары или цельпесы (в случае тонкого помола, менее 0,1 мм). Конструкция мельницы обычно предусматривает возможность организации комбинированного (стержневого и шарового) помола.

На сегодняшний день рынок вибромельниц для мокрого помола весьма ограничен: в основном это мельницы типа ВМ-200 и ВМ-400 (выпускаются РФ) производительностью по эталонному продукту до 2,5 т/ч (до 500 мкм), по ВУТ - не более 1,5 т/ч.

Водо-угольная суспензия, полученная на выходе из мельницы, подлежит контрольной классификации (для выделения частиц угля с размером больше оптимального) и гомогенизации, придающих водо-угольной суспензии необходимые реологические свойства [9]. Более крупные частицы направляются на рециркуляцию для повторного помола.

Данные по промышленному использованию вибромельниц для приготовления ВУТ весьма ограничены. Поэтому значительный интерес представляют результаты промышленных испытаний оборудования технологической линии цеха по приготовлению ВУТ ЗАО «Амальтеа» в пос. Ёнский Мурманской области РФ [10].

На этом предприятии с целью измельчения применена вибромельница ВМ-400 производительностью 1,5 т/ч и потребляемой мощностью 55 кВт. Установлено, что общее энергопотребление на приготовление 1 тонны ВУТ составляет около 103 кВт×ч. Это существенно превышает показатели, приведенные в технической литературе (около 30 кВт×ч/т), а также отличается от данных, заложенных в проекте (55 кВт×ч/т). Авторы отмечают, что отличие показателей по энергопотреблению объясняется учетом только энергозатрат на помол, при этом энергозатраты на дробление, перекачку ВУТ и отопление не учитывались.

Производительность вибромельницы существенно зависит от массовой доли твердой фазы (угля) и гранулометрического состава исходного и измельченного продуктов, а это оказывает негативное влияние на весь процесс производства. В частности отмечается нестабильный характер гранулометрического состава измельченного продукта, что вызывает необходимость производить контрольную классификацию ВУС в несколько стадий. Однако проведенные испытания позволили прогнозировать, что при оптимизации режимов работы оборудования линии по приготовлению ВУТ, удельную энергоёмкость можно снизить до 85...90 кВт×ч/т, но и эти величины по-прежнему высоки.

Таким образом, снижение энергозатрат при вибрационном измельчении угля является актуальной задачей.

Интенсификация процесса тонкого виброизмельчения может идти по ряду направлений, одним из которых является реализация в конструкциях вибромельниц горизонтального типа двумерных и трехмерных сложных колебаний, возбуждающих переменную скорость движения мелющих тел [11], использование мельниц с нетрадиционной формой рабочей камеры. Эти инновации позволяют «турбулизировать» движение загрузки, вовлечь в процесс т.н. малоподвижное ядро и, в конечном итоге, значительно снизить энергозатраты процесса измельчения. Для реализации в конструкциях вибромельниц переменной скорости движения мелющих тел в поперечном сечении помольной трубы целесообразно обеспечить условие достижения максимума касательных и нормальных напряжений в месте контакта мелющих тел с измельчаемым материалом. В этом отношении наибольший интерес представляет использование полигармонического неоднородного поля колебаний рабочего органа вибромельницы.

В результате проведенного комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с участием ДонНТУ разработана принципиально новая конструкция бигармонической вибромельницы с неоднородным полем колебаний [12-14] (рис. 3).

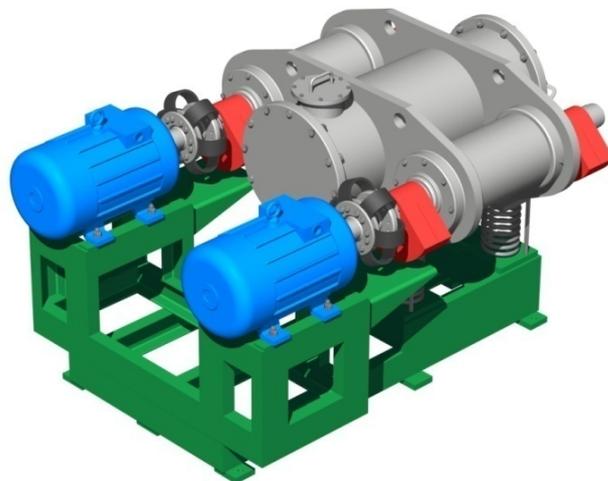


Рис. 3. 3D-модель экспериментального образца бигармонической вибромельницы

Вибрационная мельница нового типа (рис. 4) состоит из рабочего органа, включающего помольную трубу 1 и помольные тела 2, который соединен при помощи опорных упругих элементов 3 с неподвижным основанием 4. Мельница снабжена двумя дебалансными виброприводами 5, каждый из которых включает приводной вал 6 с индивидуальным приводом вращения 7, выполненным с возможностью независимого изменения угловой скорости и направления вращения приводного вала и дебалансов 8.

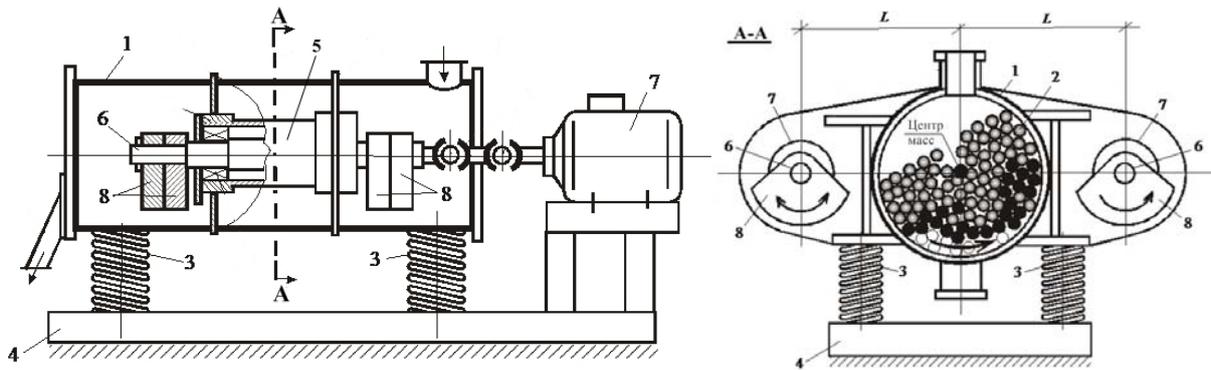


Рис. 5. Конструкция бигармонической вибромельницы

В результате моделирования динамических процессов вибромельницы бигармонического типа установлено [13], что изменяя частоты вращения, модули возбуждающих сил, а также направление вращения одного из электродвигателей привода вибровозбудителей, можно управлять в широком диапазоне силовым воздействием на помольные тела и измельчаемый материал. Этим расширяются возможности вибромельницы по созданию рациональных условий процесса измельчения конкретного измельчаемого материала, что в итоге способствует снижению энергоемкости процесса переработки и повышению удельной производительности.

Выводы

В настоящее время все большее развитие получают новые технологии создания и применения ВУТ. Неотъемлемой частью технологической схемы подготовки ВУТ является операция измельчения угля. Многочисленные исследования по тонкому измельчению доказали, что наиболее эффективным средством для получения продукта, отвечающего современным требованиям, предъявляемым к ВУТ, является вибрационная мельница. Анализ работы серийно выпускаемых вибромельниц с однородным полем колебаний показал повышенную энергоемкость процесса измельчения угля при подготовке ВУТ. Установлено, что интенсификация процесса тонкого виброизмельчения может идти по ряду направлений, одним из которых является реализация в конструкциях вибромельницы сложных колебаний, возбуждающих переменную скорость движения мелющих тел. Разработана конструкция мельницы с неоднородным полем бигармонических колебаний, режим работы которой предполагает существенное снижение энергозатрат на подготовку ВУТ. Проверить данную гипотезу будет возможно после изготовления экспериментального образца мельницы и проведения технологических испытаний.

Список использованной литературы

1. Овчинников Ю.В. Искусственное композиционное жидкое топливо из угля и эффективность его использования / Ю.В. Овчинников, С.В. Луценко. – Новосибирский государственный технический университет // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vibrocom.ru/device/mills/mills.htm>
2. Круть О.А. Водовугільне паливо: Монографія / О.А. Круть. – Київ: Наукова думка, 2002. – 169с.
3. Морозов А.Г. Гидроударные технологии для получения водоугольного топлива / А.Г. Морозов, Н.В. Коренюгина // Новости теплоснабжения. – 2010. – №7. – С. 18-21.
4. Материалы сайта <http://liquidcoal.ru/2008/05/12/24>
5. Материалы сайта <http://liquidcoal.ru/2012/08/06/236>
6. Материалы сайта <http://vodougol.ru/ru/belovo-novosibirsk>
7. Материалы сайта http://xtbm.info/publ/cement/toplivo/vodougolnoe_toplivo/
8. Vibrating mills for brown coal // "Colliery Guard.", 1980, 228, №1, 32.
9. Материалы сайта http://liquidcoal.ru/liquidcoal_and_vodougol/preparing
10. Материалы сайта <http://liquidcoal.ru/2008/05/19/26>
11. Овчинников П.Ф. Новое оборудование для измельчения / П.Ф. Овчинников, Н.Д. Орлова // Материалы конф. «Теория и практика процессов измельчения и разделения». – Одесса. – 1994. – С. 36-40.
12. Патент України на винахід. №100756. Вібраційний млин / С.Л. Букін, А.С. Букіна // Заявка а 2011 01521 В02С 19/16. Бюл. №15. – 2012.
13. Букін С.Л. Нова конструкція бігармонійного вібротлима для тонкого подрібнення різноманітних матеріалів / С.Л. Букін, А.С. Букіна // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2012. – Вип. 50 (91). – С. 60-65.
14. Букин С.Л. Динамические возможности инерционной бигармонической вибротлимыцы нового типа / С.Л. Букин, А.С. Букина // «Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжн. зб. наукових праць». – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – Вип. 1-2 (44-45). – С.61-71.

Надійшла до редакції 04.04.2014

О.І. Назимко, А.С. Букіна

ВІБРАЦІЙНЕ ПОДРІБНЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СХЕМІ ПІДГОТОВКИ ВОДО-ВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА

Стаття присвячена аналізу роботи вібраційних млинів для тонкого подрібнення вугілля з метою приготування водо-вугільного палива. Приведена технологічна схема підготовки водо-вугільного палива з використанням вібротлима в якості основного обладнання. Розглянуто особливості роботи вібротлима у виробничих умовах. Встановлено підвищену енергоємність процесу вібраційного подрібнення. Знизити енергоємність процесу можливо збудженням складних коливань робочого органу для створення змінної швидкості руху тіл, що мелють. Розглянуто конструкцію перспективного вібротлима з бігармонійним режимом роботи.

Ключові слова: водо-вугільне паливо, подрібнення, аналіз роботи, вібротлима, енергоємність, бігармонійний режим

E.I. Nazimko, A.S. Bukina

VIBRATION GRINDING IN TECHNOLOGICAL SCHEMES OF PREPARATION WATER-COAL FUEL

This article analyzes the work of vibrating mills for fine grinding of coal to prepare a water-coal fuel. The technological scheme of the preparation of coal-water fuel using a vibration mills as the main equipment. The features of a vibration in the working environment. Installed energy capacity increased vibratory grinding process. Process may reduce energy excitation complex fluctuations of the working body to create a variable speed grinding bodies. Process may reduce energy excitation complex fluctuations of the working body to create a variable speed grinding bodies. The design perspective mills with a biharmonic mode.

Keywords: Water-Coal Fuel, Grinding, Work Analysis, Vibrating Mill, Energy Consumption, Biharmonic Mode