

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ
НА ПРОЦЕСС ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ АНТРАЦИТА ПРИ ПНЕВМОТРАНСПОРТИРОВАНИИ***С. В. Ленич***EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE BASIC FACTORS INFLUENCE
ON ANTHRACITE GRINDING PROCESS AT PNEUMATIC TRANSPORT***S. V. Lenich*

Статья посвящена актуальной теме по разработке новых эффективных и менее энергоёмких способов и технологий приготовления пылеугольного топлива на тепловых электростанциях. Приведены результаты экспериментальных исследований измельчения антрацита в лабораторной пневмотранспортной измельчительной установке. Экспериментальные исследования проводились с использованием методов математического планирования экспериментов и обработки результатов опытов. Установлена зависимость влияния скорости аэросмеси, угла поворота колена транспортного трубопровода, массовой концентрации и первоначальной удельной поверхности измельчаемого материала на прирост удельной поверхности при измельчении угля в коленах пневмотранспортной измельчительной установки.

The paper is devoted to the topic of current interest on development of new effective and less energy expense methods and technologies of coal powder processing in the thermal power stations. One of the effective thin grinding methods is impact of solid particles at a hard balk. This method can be realized by the air stream acceleration of particle and their impact at the angle pipes dash elements of pneumatic transport mills. This device is intended for coal powder processing systems and allows combining the grinding process and pneumatic transport of coal, intended for flaring in the burners. The results of experimental researches of anthracite grinding in the laboratory pneumatic transport mill are presented. The experimental expression of influence of the air-coal mixture velocity, the angle of pipe's turn in the transport pipeline, the mass concentration and the primary specific surface area of the ground material on the increase of specific surface area at the impact of dash elements in the pneumatic transport mill was defined.

Ключевые слова: измельчение, пылеприготовление, антрацит, пневмотранспорт, удельная поверхность, мельница.

Keywords: grinding, coal powder processing, anthracite, pneumatic transport, specific surface area, mill.

Введение

В связи с отсутствием на территории Донбасса запасов нефти и газа, необходимость увеличения доли использования угля в топливно-энергетическом балансе региона очевидна. Однако следует отметить, что в условиях ограниченности инвестиций в разработку и внедрение новых угольных технологий целесообразным является направление реконструкции и усовершенствования процессов и оборудования в традиционных системах пылеприготовления с существующими котельными установками.

На тепловых электростанциях для факельного сжигания используется пылевидное топливо, получаемое из антрацитов и тощих углей. При этом самым энергозатратным процессом при пылеприготовлении является измельчение угля до требуемой тонкости помола.

Таким образом, создание более эффективных и менее энергоёмких способов и технологий измельчения угля для сжигания представляет собой весьма важную и актуальную научно-производственную задачу.

Анализ последних исследований и публикаций

В пневмотранспортных системах перемещение сыпучих материалов по трубам осуществляется с высокими скоростями. При этом наблюдается измельчение сыпучих материалов, таких как уголь, сланцы, различные гранулы и т. д. Частицы материалов разрушаются при ударе друг об друга и элементы пневмотранспортных систем. Это явление вызвало интерес у исследова-

телей, занимающихся процессами измельчения сыпучих материалов.

На сегодняшний день разработано много различных конструкций пневматических измельчителей, которые нашли широкое применение в различных отраслях техники. Принцип их работы основан на ударе высокоскоростным потоком частиц о размольную плиту или друг с другом. Данный способ измельчения может быть реализован путём разгона частиц потоком воздуха и удара их о сменные отбойные плиты, установленные в коленах пневмотранспортного трубопровода.

На кафедре «Транспортные системы» ГОУ ВПО «Луганский государственный университет им. В. Даля» разработано два варианта конструкции пневмотранспортной измельчительной установки. Первый вариант представляет собой зигзагообразный измельчительный трубопровод, устанавливаемый в линейную часть трубопроводов, транспортирующих уголь. Вторым вариантом предполагается использование измельчительной установки, в виде вертикального змеевика с использованием П-образных колен. Конструкция и принцип действия разработанных устройств описаны в [1; 2].

Вопросами измельчения сыпучих материалов в процессе их пневмотранспортирования занимались А. С. Буров, А. Е. Смолдырев, О. В. Павлов, И. М. Разумов, В. Н. Блиничев, Ф. Г. Зуев, М. И. Мягков, Г. Дж. Таубман, Дж. М. Боргарт, Й. Мори, Г. Шлауг и др.

Однако следует отметить, что в большинстве известных работ измельчение материалов в процессе пневмотранспортирования рассматривается как отрицательное явление. А целенаправленных исследований по установлению закономерностей измельчения материалов при движении аэросмеси по трубопроводам с измельчительными элементами проведено не было. Проведение таких исследований на экспериментальной установке представляет практическую ценность и научный интерес.

Цель исследования

Исследование проводилось с целью установления экспериментальной зависимости влияния скорости аэросмеси, угла поворота колена транспортного трубопровода, массовой концентрации и первоначальной удельной поверхности измельчаемого материала на прирост удельной поверхности при ударе об отбойный

элемент пневмотранспортной измельчительной установки. Результаты исследования позволят при правильном сочетании вышеперечисленных факторов свести энергозатраты на измельчение угля к минимуму.

Материалы и результаты исследования

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Анализ исследуемых факторов, описание измельчительной установки (принцип её работы) и порядок проведения опытов приведены в методике экспериментального исследования [3]. Установка оснащена 5-ю датчиками давления, турбинным расходомером и счётчиками расхода воздуха и числа оборотов осевого вала питателя. Все показания приборов с помощью аналогового цифрового преобразователя регистрировались программой измерений на компьютере в режиме реального времени.

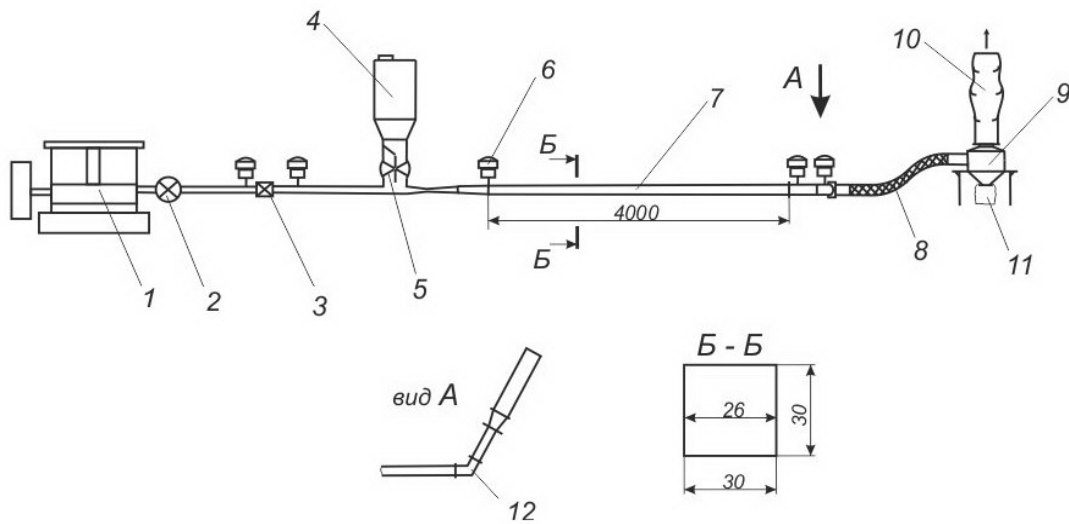


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

- 1 – компрессор поршневой; 2 – вентиль входной; 3 – расходомер турбинный; 4 – бункер;
- 5 – питатель секторный; 6 – датчики давления; 7 – разгонный участок (трубопровод квадратного профиля); 8 – соединительный шланг резиновый; 9 – циклон;
- 10 – фильтр тканевый; 11 – приёмный мешок (для выгрузки материала); 12 – колено

В качестве факторов выступают: угол поворота колена трубопровода δ (град.), скорость аэросмеси $V_{см}$ (м/с) перед коленом и массовая концентрация аэросмеси μ (кг/кг) [3]. В качестве параметра оптимизации u был принят прирост удельной поверхности ΔS_m (м²/кг), характеризующий изменение дисперсности частиц угольной пыли.

Для оценки влияния крупности частиц на прирост удельной поверхности ΔS_m для каждого сочетания факторов было проведено пять последовательных ударов (циклов измельчения), причём после каждого удара бралась порция измельчённого угля, а оставшийся материал снова засыпался в бункер для сле-

дующего удара. Затем определялся гранулометрический состав, среднее значение удельной поверхности S_m взятых порций угольной пыли определялось расчётом согласно [4]. Разность удельных поверхностей пыли до удара и после него давала прирост удельной поверхности ΔS_m . Таким образом, можно было проследить характер изменения прироста удельной поверхности ΔS_m в зависимости от номера удара и удельной поверхности пыли S_m перед каждым ударом.

В результате было поставлено пять полных трёхфакторных экспериментов типа 2³. Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1.

Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Уровни			Интервалы варьирования
	верхний +1	основной 0	нижний -1	
$V_{см}$, м/с	90	70	50	20
δ , град.	90	75	60	15
μ , кг/кг	2	1,2	0,4	0,8

По результатам обработки опытов получено пять уравнений регрессии. В натуральных величинах уравнения прироста удельной поверхности ΔS_m имеют вид:

– после 1-го удара:
 $\Delta S_{m1} = -2,86 + 0,2165V + 0,06\delta - 1,7875\mu$; (1)

– после 2-го удара:
 $\Delta S_{m2} = -4,82 + 0,198V + 0,051\delta - 1,194\mu$; (2)

– после 3-го удара:
 $\Delta S_{m3} = -3,015 + 0,142V + 0,045\delta - 1,0\mu$; (3)

– после 4-го удара:
 $\Delta S_{m4} = -1,565 + 0,111V + 0,031\delta - 0,914\mu$; (4)

– после 5-го удара:
 $\Delta S_{m5} = -1,173 + 0,09V + 0,022\delta - 0,642\mu$. (5)

Анализ уравнений (1) – (5), показывает, что в области эксперимента, наибольшее влияние на прирост удельной поверхности ΔS_m измельчаемого антрацита при его пневмотранспортировании оказывают: скорость аэросмеси $V_{см}$ и массовая концентрация μ . Причём прирост удельной поверхности ΔS_m повышается с увеличением скорости аэросмеси $V_{см}$ и уменьшением

массовой концентрации μ . В меньшей степени на прирост удельной поверхности ΔS_m влияет изменение угла поворота колена δ , увеличение которого (до 90°) приводит к росту ΔS_m .

Удельная поверхность угольной пыли S_m после i -го удара равна:

$$S_{m_i} = S_{m_0} + \sum_{i=1}^n \Delta S_{m_i}, \quad (6)$$

где S_{m_0} – первоначальная удельная поверхность угольной пыли, м²/кг; i – номер удара (цикла измельчения); n – общее количество ударов (циклов измельчения).

С учётом формулы (6) можно проследить зависимость прироста удельной поверхности ΔS_m от текущей удельной поверхности S_m угольной пыли после каждого удара. Для этого, используя экспериментальные математические модели (1) – (5) построим график зависимости $\Delta S_m = f(S_m)$, при этом принимаем постоянное сочетание факторов на верхних, средних и нижних уровнях (рис. 2).

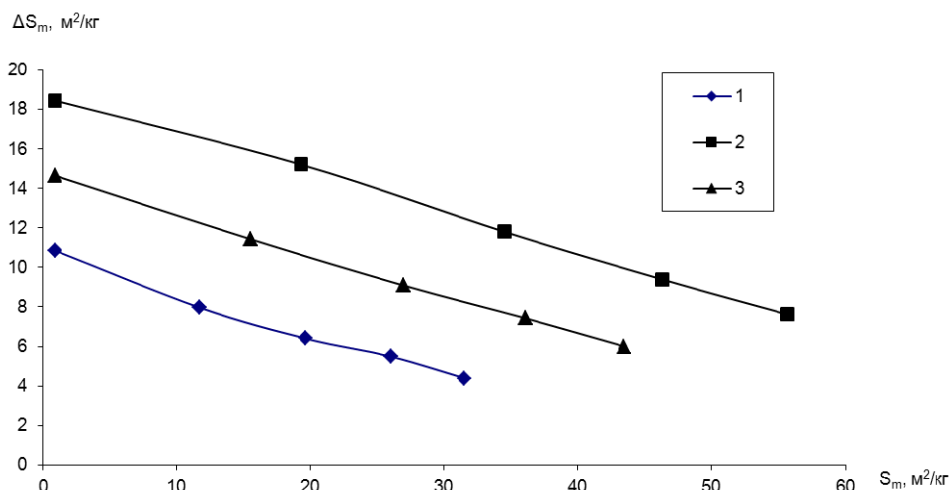


Рис. 2. График зависимости $\Delta S_m = f(S_m)$:
 1 – все факторы (-1): $V_{см}=50$ м/с, $\delta=60^\circ$, $\mu=0,4$ кг/кг; 2 – все факторы (+1): $V_{см}=90$ м/с, $\delta=90^\circ$, $\mu=2,0$ кг/кг;
 3 – все факторы (0): $V_{см}=70$ м/с, $\delta=75^\circ$, $\mu=1,2$ кг/кг

Как видно из графика (рис. 2) зависимость $\Delta S_m = f(S_m)$ имеет выраженный линейный характер. Уравнение ($y=kx+b$) наклонных прямых имеет вид:

$$\Delta S_m = (\Delta S_{m1} + 0,2) - 0,2 \cdot S_m. \quad (7)$$

где ΔS_{m1} – прирост удельной поверхности после первого удара, м²/кг.

Далее, подставив уравнение (1) в формулу(7) получим:

$$\Delta S_m = -2,66 + 0,2165V_{см} + 0,06\delta - 1,7875\mu - 0,2 \cdot S_m. \quad (8)$$

Для нескольких последовательных ударов уравнение (8) примет вид:

$$\Delta S_{m_i} = -2,66 + 0,2165 V_{cm} + 0,06 \delta - 1,7875 \mu - 0,2 \left[S_{m_0} + \sum_{i=2}^n \Delta S_{m_{i-1}} \right], \quad (9)$$

На графике (рис. 3) представлена зависимость $\Delta S_m = f(S_m)$, определённая по уравнению (9), для пяти

ударов и показано сравнение с экспериментальными точками. Добавочные проверочные экспериментальные точки взяты на основании дополнительно проведенных опытов.

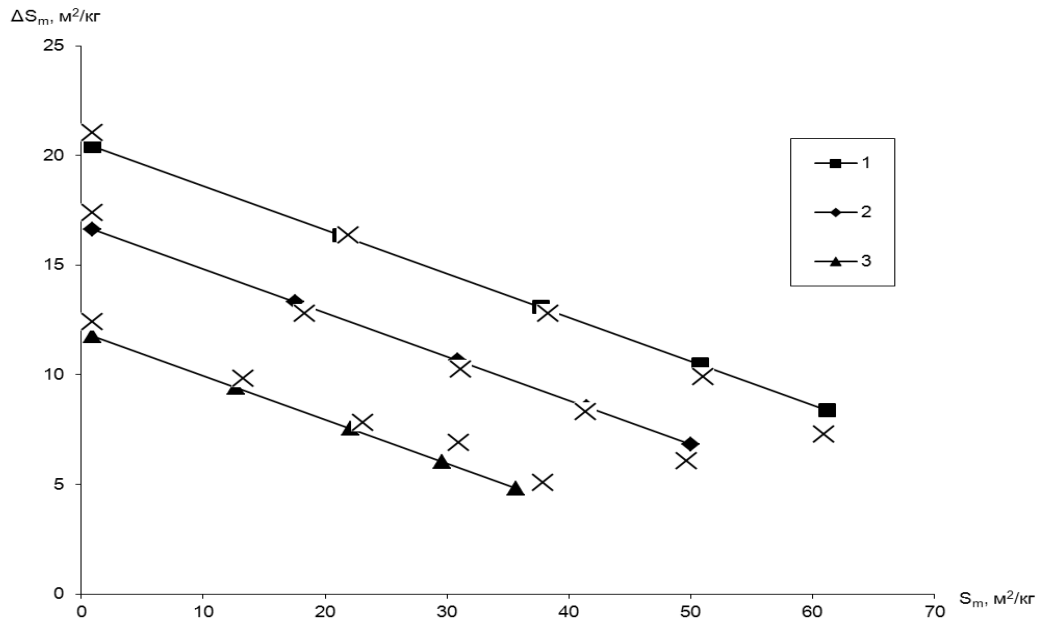


Рис. 3. График зависимости $\Delta S_m = f(S_m)$: 1 – $V_{cm}=90 \text{ м/с}$, $\delta=75^\circ$, $\mu=0,4 \text{ кг/кг}$; 2 – $V_{cm}=70 \text{ м/с}$, $\delta=90^\circ$, $\mu=0,6 \text{ кг/кг}$; 3 – $V_{cm}=50 \text{ м/с}$, $\delta=75^\circ$, $\mu=0,4 \text{ кг/кг}$

Как видно (рис. 3), полученная экспериментальная зависимость (9) адекватно отражает реальный процесс измельчения антрацита в пневмотранспортной измельчительной установке.

Выводы

1. Проведенные исследования продемонстрировали полную работоспособность разработанной пневмотранспортной измельчительной установки и воз-

можность получения в ней пылеугольного топлива с необходимой тонкостью помола.

2. Установлена экспериментальная зависимость влияния скорости аэросмеси, угла поворота колена транспортного трубопровода, массовой концентрации и первоначальной удельной поверхности измельчаемого материала на прирост удельной поверхности при измельчении угля в коленах пневмотранспортной измельчительной установки.

Литература

1. Патент 44274 Україна, МПК (2009) кл. В02С 19/00, В02С 23/06. Подрібнювач / В. О. Турушин, Г. І. Нечаєв, С. В. Лєнич; заявл. 05.05.2009; опубл. 25.09.2009. Бюл. № 18.
2. Патент 101529 Україна, МПК (2013.01) кл. В02С 19/06, В02С 23/00. Газострумний подрібнювач / В. О. Турушин, С. В. Лєнич; заявл. 23.05.2011; опубл. 10.04.2013. Бюл. № 7.
3. Лєнич С. В., Турушин В. А., Ставцев В. В. Методика експериментального дослідження измельчення угля в пневмотранспортній измельчальній установці // Вісник СНУ ім. В. Даля. 2011. № 5(159) частина 2. С. 319 – 325.
4. Ходаков Г. С. Тонкое измельчение строительных материалов. М.: Строительство, 1972. 239 с.

Информация об авторе:

Лєнич Сергей Васильевич – старший преподаватель кафедры транспортных систем Луганского государственного университета им. Владимира Даля, ttsnu@meta.ua.

Sergey V. Lenich – Senior Lecturer at the Department of the Transport Systems, Volodymyr Dahl Lugansk State University.

Статья поступила в редколлегию 21.09.2015 г.