

УДК 62-983, 62-982

## ПИРОЛИЗ УГЛЕЙ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ ДАВЛЕНИИ

Кузнецов А.Б., студент гр. ТЭб-221, I курс

Научный руководитель: Шевырев С.А., к.т.н., кандидат технических  
наук

доцент кафедры теплоэнергетики Института энергетики

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

В настоящий момент в мире наблюдается тенденция отказа от привычных видов топлива в сторону возобновляемых источников энергии. Так как Кузбасс является регионом с развитым топливно-энергетическим комплексом, снижение добычи угля и отказ от его использования в качестве энергоносителя окажет негативное влияние на экономическую сферу региона. В связи с этим возрастает интерес к использованию угля в качестве неэнергетического ресурса [1]. Одним из методов глубокой переработки углей является пиролиз.

В процессе пиролиза углей могут быть получены различные полезные продукты, в том числе углеродные сорбенты [2]. Пиролиз проводят при различных условиях [3], однако при переменном давлении в реакторе как ожидается, можно будет получить высокопористые сорбенты. Для этого планируется создать установку, изображённую на рисунке 1.

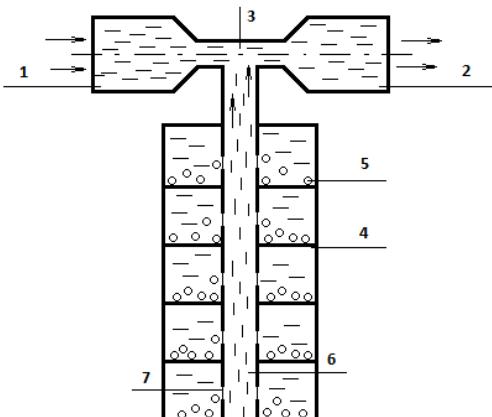


Рисунок 1 – Схема реакторной установки для проведения пиролиза при переменном давлении

1 – входное отверстие; 2 – выходное отверстие; 3 – место сужения эжектора; 4 – «тарелка»;  
5 – частичка угля; 6 – основная труба; 7 – сетчатое отверстие

Частички угля (5) выкладываются на тарелки (4) и помещаются в реактор. Через отверстия (7) при понижении давления происходит откачка воздуха вместе с продуктами пиролиза и их удаление через основную трубу (6). Разряжение в трубе создаётся при помощи специального устройства – эжектора. Эжектор, работая по закону Бернулли, создаёт в сужающемся сечении (3) пониженное давление одной среды, что вызывает вовлечение в поток другой

среды – газовой смеси из активной зоны реактора [4]. Конструктивные параметры эжектора, а, следовательно, и корректность последующего исследования, напрямую зависят от правильности его расчёта.

Проведем расчет эжектора (рисунок 2) для оценки конструктивных размеров, необходимых для создания экспериментальной установки.

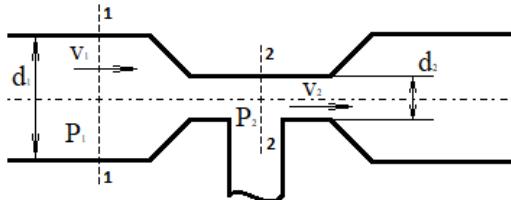


Рисунок 2 – Схема эжектора, типа воздух-воздух

Как было отмечено выше, работа эжектора основана на уравнение Бернулли:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

где  $P_1$  – давление потока в сечении 1-1, Па;  $P_2$  – давление потока в сечении 2-2 Па;  $v_1$  – скорость потока в сечении 1-1, м/с;  $v_2$  – скорость потока в сечении 2-2 м/с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\rho$  – плотность рабочего тела (воздуха), кг/м<sup>3</sup>.

$$H_{\text{эак}} = \frac{P_2}{\rho g}$$

$$H_{\text{эак}} = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g}$$

$$v_1 = \frac{4Q}{\pi d_1^2}$$

где  $Q$  – расход воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $d_1$  – диаметр трубы в сечении 1-1, м.

Скорость воздуха во втором сечении:

$$v_2 = \frac{4Q}{\pi d_2^2}$$

$$H_{\text{эак}} = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\left(\frac{4Q}{\pi d_1^2}\right)^2}{2g} - \frac{\left(\frac{4Q}{\pi d_2^2}\right)^2}{2g}$$

Упростим выражение:

$$H_{\text{эак}} = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{4^2 Q^2}{2g \pi^2} \left( \frac{1}{d_1^4} - \frac{1}{d_2^4} \right);$$

$$P_2 = H_{\text{эак}} g \rho;$$

$$P_2 = P_1 + \frac{4^2 Q^2 \rho}{2 \pi^2} \left( \frac{1}{d_1^4} - \frac{1}{d_2^4} \right)$$

Таким образом, получено уравнение, определяющее глубину вакуума  $P_2$  (Па) в экспериментальной установке.

При помощи приложения Mathcad были построены зависимости величины разряжения от расхода проходящего воздуха для разных диаметров  $d_2$  труб (рисунок 3).

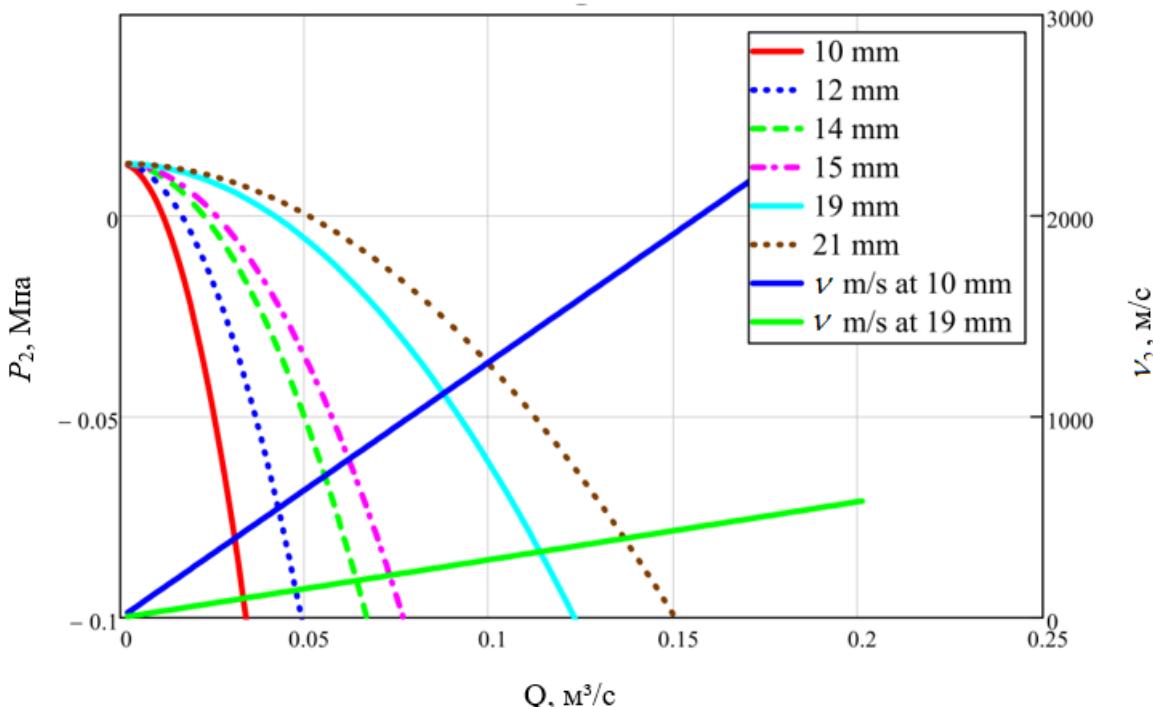


Рисунок 3 – График зависимости давления  $P_2$  от расхода воздуха

На основании расчетов и результатов, представленных на рисунке 3 можно подобрать требуемую воздуходувку. Основными критериями выбора являлись два параметра: производительность и потребляемая мощность. Согласно данным, представленным на рисунке 3, расход должен составлять от 0,034 до 0,15  $\text{м}^3/\text{с}$ . Потребляемая мощность воздуходувки ограничена техническими характеристиками электрических сетей лаборатории и составляет 10 кВт.

По данным [5] в качестве возможного к использованию оборудования можно принять модель Elmo Rietschle 2BH1 800-6AH17 G-Series НТ со следующими характеристиками:

Производитель:	Elmo Rietschle
Назначение:	Промышленная
Категория:	Воздуходувка
Страна:	Германия
Тип:	Вихревая
Серия:	BH1
Производительность, м <sup>3</sup> /час	520
Подсерия:	HT
Макс. избыточное давление, мбар:	330
Модель:	2BH1 800-6AH17
Макс. разряжение, мбар:	-280

Мощность, кВт:	4,8
Вес, кг:	137
Уровень шума, дБ:	70

### **Список литературы**

1. Мишенина, Л. С. Экономические аспекты развития угольных регионов / Л. С. Мишенина, Е. Н. Мишенин // Перспективы инновационного развития угольных регионов России : Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции, Прокопьевск, 30 апреля 2020 года. – Прокопьевск: Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева" в г. Прокопьевске, 2020. – С. 215-219.
2. Текстурные характеристики углеродных сорбентов из каменных углей различных стадий метаморфизма / И. Ю. Зыков, А. А. Звеков, Ю. Н. Дудникова [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2019. – № 4(134). – С. 64-69. – DOI 10.26730/1999-4125-2019-4-64-69.
3. Жежера, Н. И. Изменения давления и расхода газов в порах крошки изношенных шин при пиролизе переменным давлением в реакторе / Н. И. Жежера // . – 2013. – № 4. – С. 42-47. – EDN QBINRT.
4. О.О. Ворожцов Гидравлика с примерами задач. – Псков: Федеральное агентство по образованию, 2008. – 135с.
5. Воздуходувки промышленные // Интернет-магазин вакуумного оборудования URL <https://vacuequipment.org/catalog/vozdukhoduvki/> (дата обращения 21.03.23).