

УДК 622.83:681.58:681.32

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ АДСОРБЕНТОВ

Елкин И. С., к.т.н., доцент
Ушаков А. Е., студент гр. РТм-211, II курс
Завалко Н. С., студент гр. МСб-221, I курс
Кузбасский государственный университет
имени Т. Ф. Горбачева
г. Кемерово

DEVELOPMENT OF AN INSTALLATION FOR THE STUDY OF SORPTION PROPERTIES OF ADSORBENTS

Ivan S. Elkin, candidate of technical Sciences, associate Professor
Alexander E. Ushakov, student, II course
Nikita S. Zavalko, student, I course
(KuzSTU, Kemerovo)

Аннотация. Представлены результаты по разработке лабораторной установки для исследования сорбционных свойств адсорбентов. Межфазные взаимодействия на границе раздела уголь-жидкость-газ, адсорбционные процессы на границе раздела фаз определяют напряженное состояние угольного массива, напряженное состояние массива горных пород, что оказывает влияние на безопасность проведения горных работ.

Annotation. The results of the development of a laboratory installation for the study of the sorption properties of adsorbents are presented. Interphase interactions at the coal-liquid-gas interface, adsorption processes at the phase interface determine the stressed state of the coal massif, the stressed state of the rock massif, which affects the safety of mining operations.

Ключевые слова: сорбция, сорбенты, лабораторная установка, уголь, фракция, адсорбат, газ, давление

Keywords: sorption, sorbents, laboratory installation, coal, fraction, adsorbate, gas, pressure

Адсорбенты – вещества сорбирующие в больших объемах на поверхности пор молекулы газов или жидкостей. Наиболее распространенными природными адсорбентами является каменные угли. Важное значение имеет адсорбционный потенциал угля, способность адсорбировать в большом объеме газы. В зависимости от этого изменяются

существенно механические свойства угольного массива, напряжения в массиве, способность к динамическим процессам при разработке угольного пласта. На результат динамических процессов, протекающих в массиве горных пород, оказывает наибольшее влияние процессы сорбции, сорбционный объем газа [1].

Разработка лабораторной установки по исследованию адсорбционных свойств углей является актуальным в связи с необходимостью повышения безопасности ведения горных работ на угольных предприятиях, прогноза и предотвращения внезапных выбросов, создания безопасных высокочемических газовых аккумуляторов, разработки технологий выработки различных газов из газоздушных смесей [2], [3], [4].

Лабораторные исследования по адсорбции метана каменными углями с помощью весов Мак-Бена приведены в [5]. В частности здесь определялись адсорбционные свойства углей разных марок, удельная поверхность пор, удельный объем.

По результатам исследований приведенных в [1], [5] для природных углей удельная поверхность пор составляет 92 000 м²/кг для угля марки КО. Диаметр молекул метана составляет 3,8·10⁻¹⁰ м. При мономолекулярном распределении молекул по поверхности пор в рамках теории И. Ленгмюра в одном килограмме адсорбента в виде природного угля может содержать до 0,0169 кг газа СН₄. Причем объем пор составляет для угля марки КО, например, 0,067 л/кг [2].

Если для свободного газа расстояние между молекулами составляет 3,5·10⁻⁹ м, для адсорбированного состояние молекул газа это расстояние будет составлять 5·10⁻¹⁰ м в зависимости от температуры и давления, то есть в 7,0 раза меньше.

Адсорбционные свойства сорбентов, характеризуются постоянными Ленгмюра. Уравнение И. Ленгмюра для массы адсорбированного газа имеет вид:

$$m = \frac{m_0 b p}{(1 + b p)},$$

где m_0 , b – постоянные Ленгмюра; p – давление газа.

Теория И. Ленгмюра базируется на следующих положениях [6]:

1. Поверхность адсорбента ограничена. Адсорбция вещества происходит не на всей поверхности, а только на активных центрах. Такими центрами могут служить отдельные атомы или группы атомов, выступающих над поверхностью адсорбента;

2. Один активный центр удерживает только одну молекулу;

3. Когда все активные центры заняты и поверхность адсорбента покрыта слоем толщиной в одну молекулу (мономолекулярный слой), наступает адсорбционное равновесие и дальнейшее увеличение адсорбции невозможно;

4. Процесс адсорбции имеет динамический характер. При равновесии скорость адсорбции и десорбции одинакова. Адсорбированные молекулы остаются некоторое время связанными с активными центрами, а затем десорбируются и их место занимают другие молекулы. Время пребывания молекулы на активном центре зависит от температуры и давления;

5. Молекулы, адсорбированные на активных центрах, не взаимодействуют друг с другом.

Вид разработанной нами лабораторной установки приведен на рис. 1. Установка состоит из основных элементов: поршневого насоса, жидкостного манометра, сосуда с исследуемым сорбентом и датчиков (тензометрический датчик на 20 кг (5 кг) от фирмы OIML и барометрический датчик BMP280 от фирмы Bosch). Данные от этих датчиков оцифровываются с помощью аналого-цифрового преобразователя НХ711 и данные обрабатываются и выводятся на экран ПК с помощью микроконтроллера ATmega328 от фирмы Atmel.

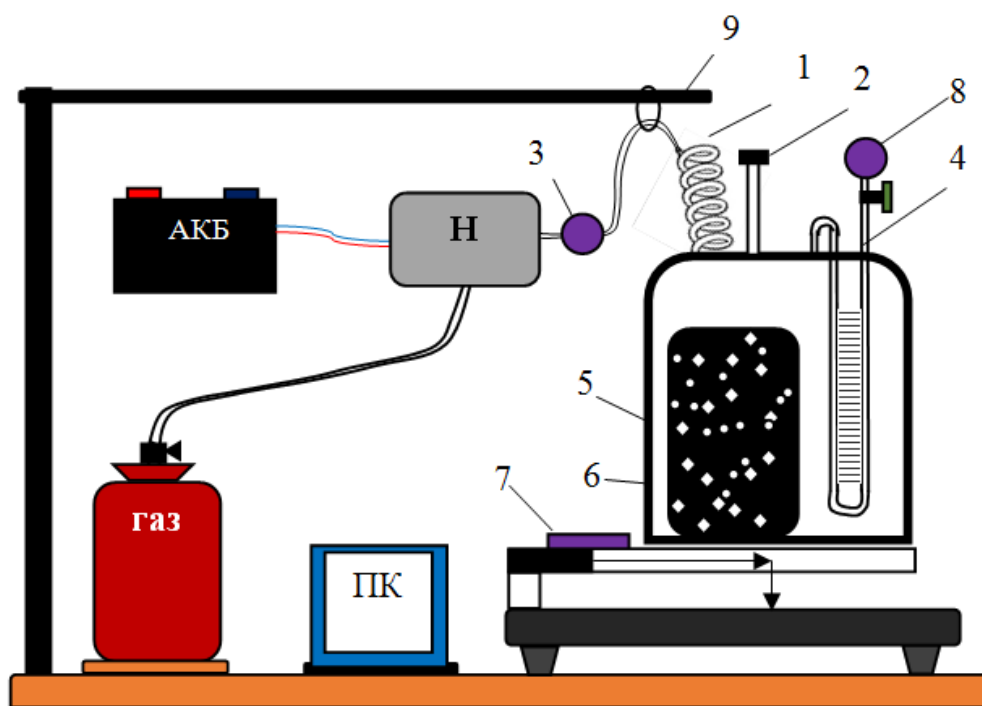


Рис.1. Лабораторная установка для исследования свойств сорбентов:

- | | |
|---------------------------------------|----------------------|
| 1 - Компенсатор; | 8 - Датчик давления; |
| 2 - Выпускной клапан; | 9 - Штатив; |
| 3 - Датчик давления; | Н – Компрессор; |
| 4 - Жидкостный манометр; | АКБ – Аккумулятор; |
| 5 - Емкость (около 2л); | ПК – Компьютер; |
| 6 - Твердое капиллярно-пористое тело; | Газ – Адсорбат |
| 7 - Тензометрический датчик; | |

Особенностью разработанной нами лабораторной установки является:

1. Герметичность системы с расчетом на избыточное давление 1 – 4 атм.;
2. Простота конструкций;
3. Точность измерений.

В установке использованы тензометрические датчики, позволяющие фиксировать с более высокой точностью изменение массы адсорбента, напряжения возникающие вследствие изменения массы. Более высокая точность в измерениях достигается путем нормировки датчиков и использованием программы. При массе адсорбента 2 кг в виде угля фракции 7 – 10 мм погрешность измерений составила 0,03% от массы адсорбента.

Для исследования адсорбционных свойств использовались наиболее распространенные адсорбенты: силикагель, древесный уголь, каменный уголь. По адсорбционным свойствам можно оценить удельную поверхность пор адсорбента, установить сорбционную емкость адсорбента.

Разработанная установка позволяет в лабораторных условиях исследовать динамический процесс снижения давления свободного газа с течением времени при адсорбции вследствие микрокапиллярной фильтрации и адсорбции молекул газа на поверхности пор. На рис. 2 представлена зависимость изменения давления газа в сосуде. Время $t = 0$ соответствует моменту отключения насоса. Наблюдается снижение давления после прекращения нагнетания газа в сосуд. Снижение давления обосновывается фильтрационными процессами в капиллярах адсорбента и динамическими диффузными процессами на границе раздела уголь-газ.

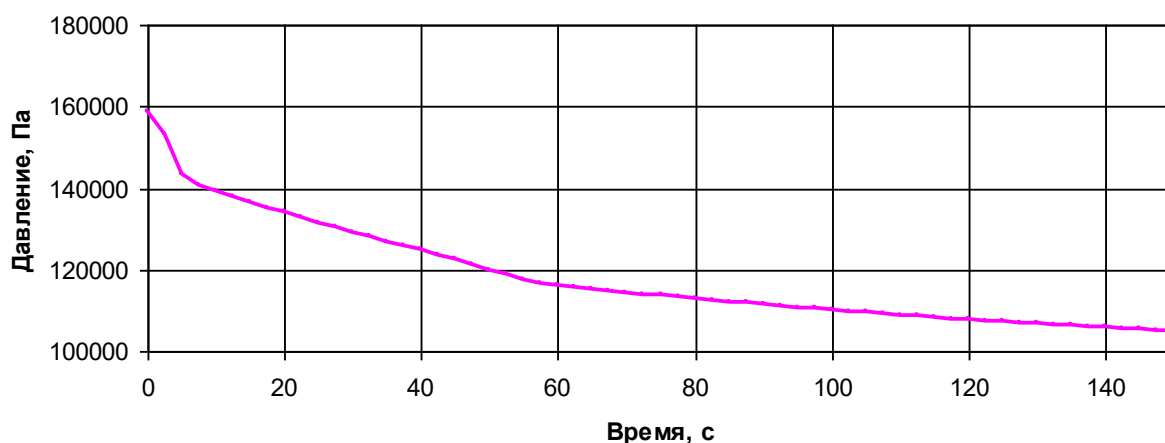


Рис. 2. Изменение давление газа вследствие его адсорбции

Общая газоемкость адсорбента определяется сорбционным объемом и объемом газовой фазы. Максимальная газоемкость природного угля в естественных условиях (напряженном состоянии) достигает $25 \text{ м}^3/\text{т}$ угля и более (при нормальных условиях). В этом случае масса газа составляет около $16,4 \text{ кг}/\text{т}$ угля, что соответствует 1,64 % от массы угля.

Список литературы:

1. Айруни А. Т. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах. – Москва : Недра, 1981. — 335 с.
2. Авгуль, Н. Н., Киселев, А. В., Пошкус, Д. П. Адсорбция газов и паров на однородных поверхностях. – Москва : Химия, 1975. – 384 с.
3. Эттингер И. Л., Шульман Н. В. Распределение метана в порах ископаемых углей. – Москва : Наука, 1975. – 112 с.
4. Дырдин В. В., Елкин И. С., Логинов Я. В. Изучение процессов сорбции на угле // Вестник КузГТУ. – Кемерово : ГУ КузГТУ, 2003. – № 2. – С. 9 – 11.
5. Панасейко С. П. Изучение поверхностных свойств, объема пор и удельной поверхности кузнецких углей разной стадии метаморфизма. / Борьба с газом и внезапными выбросами в угольных шахтах. Сб. тр. ВостНИИ. – Прокопьевск: 1973. –Т. 20. – С. 36 – 45.
6. [Электронный ресурс] studfile.net Теория мономолекулярной адсорбции Ленгмюра. URL: <https://studfile.net/preview/2229401/> Дата обращения 22.03.2023.