



УДК 628.336

## КРИТЕРИИ ВЫБОРА ЦЕОЛИТОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ БИОГАЗА

### ZEOLITES SELECTION CRITERIA FOR BIOGAS PREPARATION

**Кошелева Юлия Глебовна**  
студент,  
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина  
kosheleva.yulya1996@yandex.ru

**Kosheleva Julia Glebovna**  
Student,  
Gubkin University  
kosheleva.yulya1996@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрена возможность и актуальность подбора цеолита для очистки биогаза исходя из коксообразования. Описана лабораторная установка и последовательность при выполнении эксперимента.

**Annotation.** Possibility and relevance of zeolite selection for synthetic gas purification with regard to coke formation is studied. Laboratory unit and sequence of steps in the course of the experiment are described.

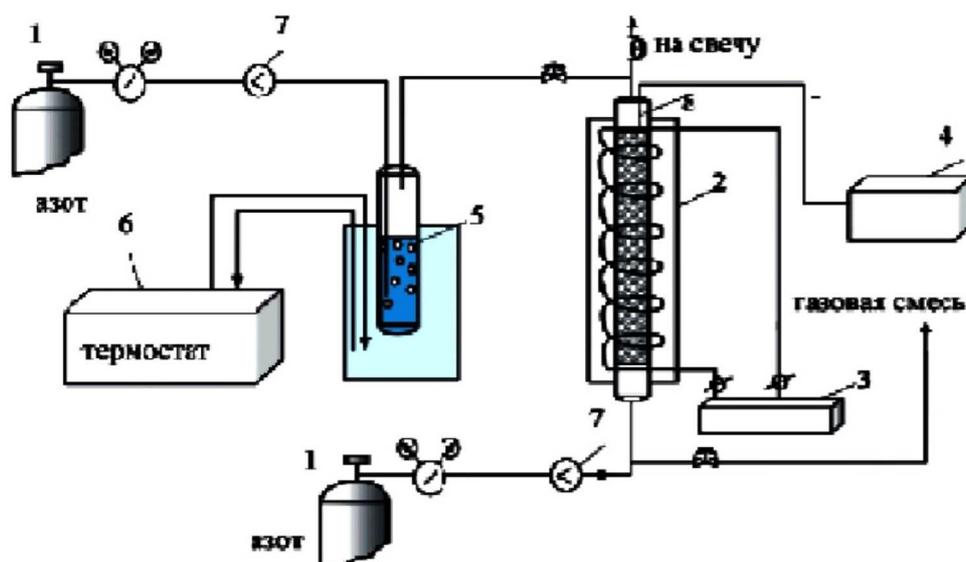
**Ключевые слова:** биогаз, осушка, цеолиты, использование биогаза.

**Keywords:** biogas, dehydration, zeolites, biogas use.

При подготовке биогаза к использованию применяются различные методы очистки и, при необходимости, осушки. Одним из таких способов является адсорбционная очистка газа от кислых примесей цеолитами, главным образом, сероводорода и его гомологов. К преимуществам адсорбентов относят возможность глубокой очистки и регенерируемость [1]. Однако, из-за состава сырья – жирный газ с высоким содержанием водорода и углекислоты – возможно закоксовыванием цеолитов и снижение адсорбционной активности, поэтому важно проводить испытания на склонность цеолитов к накоплению кокса.

Проведение испытаний по коксованию включает в себя регенерацию адсорбента в токе азота при 350 °С, пропускание смеси азота и коксующего агента через слой сорбента и определение содержания коксовых отложений по [2, 3]. В качестве коксующего агента используются н-бутан, н-гексан и н-октан как наиболее активные коксующие агенты, содержащиеся в биогазе. При использовании н-бутана в качестве коксующего агента и продолжительности опыта 96 часов привес кокса на адсорбентах составляет только до 0,05 % масс., а при использовании н-гексана – вырос до 0,7 % масс.

Для определения склонности к коксообразованию предварительно взвешенный пустой цилиндрической реактор, диаметром 25 мм и высотой 100 мм, загружают пробу цеолита объёмом 20 см<sup>3</sup>. Реактор снабжён в нижней части решеткой с отверстиями для поддержания слоя адсорбента и карманом для термопары. В испытаниях по определению склонности адсорбентов к закоксовыванию в качестве газа регенерации используется азот. Принципиальная схема лабораторной установки представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1** – Схема установки для определения склонности к коксованию цеолитов:  
1 – баллон с азотом; 2 – лабораторная печь для нагрева реактора; 3 – терморегулятор;  
4 – измеритель температуры с термопарой; 5 – барботер; 6 – термостат; 7 – ротаметры; 8 – реактор



Предварительная регенерация адсорбентов проводится при следующих постоянных условиях:

- подъем температуры в реакторе до 350 °С со скоростью 5 °С/мин.;
- время регенерации 180 мин;
- газ регенерации – азот 99,99 % об;
- скорость подачи азота – 100–125 мл/мин.,
- направление газа регенерации – сверху вниз.

Процесс коксообразования различных адсорбентов проводится при следующих постоянных условиях:

- постепенный подъем температуры в реакторе до 350 °С со скоростью 5 °С/мин.;
- время коксообразования 24 час;
- температура в водяной бане 80–85 °С;
- газ-носитель – азот 99,99 % об;
- скорость подачи газового потока – 100–125 мл/мин.,
- направление газового потока – сверху вниз.

Газообразный азот из баллона подаётся в систему барботирования, состоящей из водяной бани и склянки Дрекслея, в которую залитоксующее вещество. Температура в водяной бане поддерживается на уровне 80–85 °С для получения модельной смеси: азот – н-октан. Содержание н-октана составляет 0,1–0,12 г/дм<sup>3</sup>. Смесь направляется в ректор, который вставлен в цилиндрическую печь, оборудованную электрообмоткой. После проведения опыта в течение 96 часов проводится отдувка азотом адсорбированных на цеолите углеводородных компонентов в течение 30 мин при температуре 350 °С. По окончании отдувки определяется привес массы адсорбента и вычисляется массовое содержание кокса по [2, 3]. В результате эксперимента показано, что подбор цеолита учитывая склонность к закоксуыванию позволяет уменьшить коксообразование до 20 % и увеличить время полезного использования цеолита.

#### Литература:

1. Кондратенко А.Д., Карпов А.Б., Козлов А.М. Разработка комбинированного способа предварительной подготовки природного газа перед сжижением / Материалы VIII Международной научно-технической конференции: «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». – 2017. – С. 132–134.
2. Кондратенко А.Д. [и др.]. Использование синтетической бензиновой фракции в качестве сырья для пиролиза / Тезисы докладов Всероссийской научной конференции: «Переработка углеводородного сырья. Комплексные решения» – Левинтерские чтения. – Самара : СамГТУ, 2016. – С. 132–133.
3. Карпов А.Б., Жагфаров Ф.Г., Козлов А.М. Снижение коксоотложения в печах пиролиза с помощью ингибитора коксообразования // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2015. – № 11. – С. 21–25.

#### References:

1. Kondratenko A.D., Karpov A.B., Kozlov A.M. Development of a combined method of preliminary preparation of natural gas before liquefaction / Proceedings of the VIII International Scientific and Technical Conference: «Low-temperature and food technologies in the XXI century». – 2017. – P. 132–134.
2. Kondratenko A.D. [et al.]. Use of synthetic gasoline fraction as a raw material for pyrolysis / Abstracts of reports of the All-Russian Scientific Conference: «Processing of hydrocarbon raw materials. Complex solutions» – Levinter readings. – Samara : Samara State Technical University, 2016. – P. 132–133.
3. Karpov A.B., Zhagfarov F.G., Kozlov A.M. Reduction of the coke sedimentation in the pyrolysis furnaces with the help of the coke formation inhibitor // Petroleum refining and petrochemistry. Scientific and technical achievements and best practices. – 2015. – № 11. – P. 21–25.