

## НИЗКОУГЛЕРОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

Е.В. Керосиров, А.В. Гришин, В.Д. Долгих, И.В. Кудинов

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

**Обоснование.** Магистральное направление развития мировой энергетики на ближайшие годы — переход к низкоуглеродным технологиям производства и потребления энергии. Наряду с расширением использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в рамках перехода к низкоуглеродной энергетике планируется расширенное применение водорода в качестве топлива и энергоносителя. Научная значимость проводимых исследований обуславливается тем, что к настоящему времени не существует фундаментальных, теоретических и методологических основ энергоэффективного получения водорода и перехода к водородной энергетике [1–3].

**Цель** — разработать низкоуглеродную технологию получения водорода.

**Методы.** Для осуществления процесса пиролиза метана в газовой фазе (рис. 1) и конденсированной среде был изготовлен реактор из высоколегированной стали марки 20Х23Н18 с обеспечением возможности загрузки различных катализаторов.

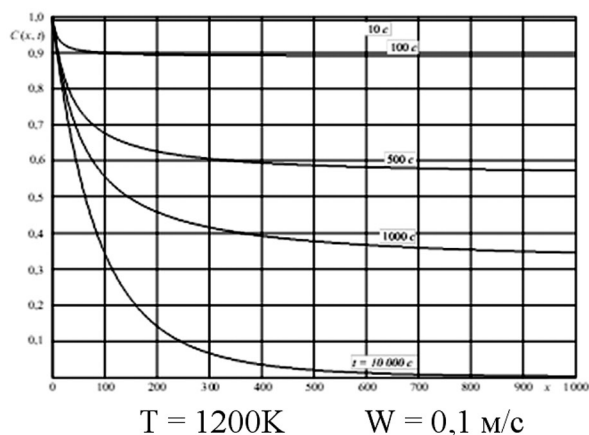
Выполнена разработка и проведено исследование математических моделей разложения метана при его пиролизе, включающих изменение концентрации метана от температуры и скорости подачи газа во времени реакции (рис. 2) [4].

С целью предотвращения аварийных режимов работы лабораторного стенда выполняются аналитические и численные исследования температурного и термонапряженного состояния кварцевых реакторов (рис. 3), предназначенных для получения водорода путем пиролиза метана, пропускаемого через конденсированную среду (жидкий металл или расплавы солей). Расчеты проводились в программном комплексе Ansys Workbench [5].

Выяснилось, что для лучшей конверсии метана необходимо увеличивать площадь контакта фаз «жидкость-газ». Для этого было принято решение использовать диспрегаторы.

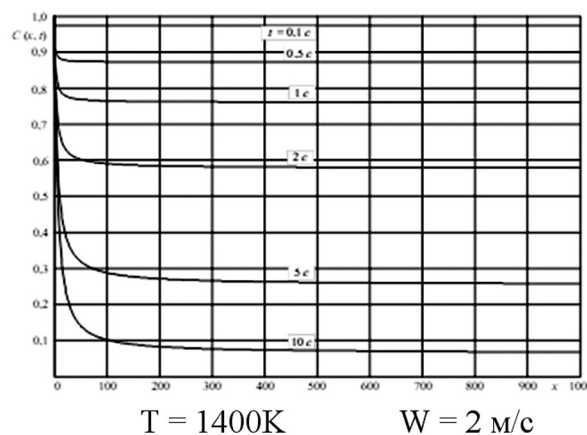


Рис. 1. Газовый реактор каталитического пиролиза метана



$T = 1200\text{K}$        $W = 0,1 \text{ м/с}$

*a*



$T = 1400\text{K}$        $W = 2 \text{ м/с}$

*б*

Рис. 2. Изменение концентрации метана по координате во времени

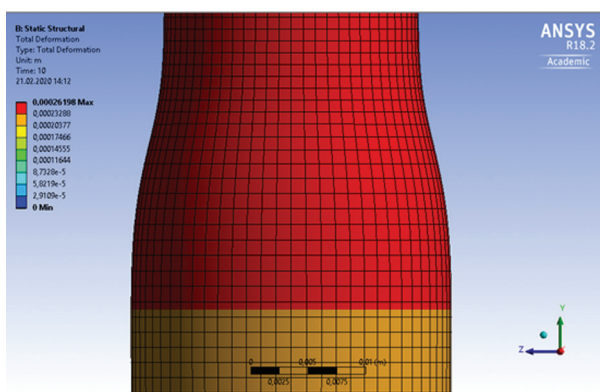


Рис. 3. Деформационная картина на стыке двух сред в тигле реактора

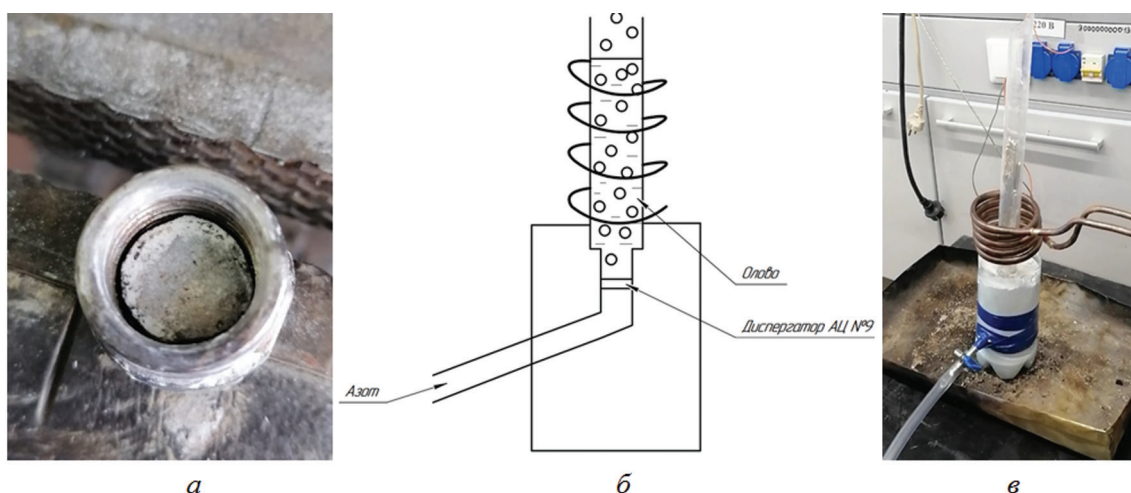


Рис. 4. Модельная установка для исследования диспергатора

Диспергатор — это пористый материал, который при пропускании газа через себя дает пузырьки малого размера, что способствует увеличению площади контакта фаз.

На кафедре были проведены предварительные исследования, в ходе которых выявились наилучшие диспергаторы с наименьшим размером пор. Одним из таких стал — алюмоциркониевый диспергатор № 9 (рис. 4, а). Для эксперимента была создана модельная установка, суть которой состояла в том, чтобы проверить, насколько тот или иной диспергатор уменьшает размер пузырьков газа азота в расплавленном олове (рис. 4, б, в).

**Результаты.** При исследовании математической модели разложения метана при его пиролизе можно судить о том, что при температуре 1200 К и скорости подачи газа 0,1 м/с для разложения более чем 90 % метана потребуется 10 000 с, а при температуре 1400 К и скорости 2 м/с для разложения такого же количества метана потребуется 10 с.

Далее при исследовании температурного и термонапряженного состояния кварцевых реакторов выяснилось, что в случае использования неметаллических реакторов необходимо предварительно решать тепловую и термоупругую задачу для определения необходимой толщины реактора и допустимых температурных режимов, не приводящих к аварийному повреждению тигля реактора.

В ходе эксперимента по исследованию диспергаторов также выяснилось, что АЦ № 9 образует пузырьки газа азота диаметром 2–3 мм и предотвращает коагулирование и образование поршневого эффекта в расплавленном олове, разогретом до температуры 250 °С.

**Выводы.** В результате научно-исследовательской работы был разработан экспериментальный стенд пиролиза метана, изучены параметры процесса разложения метана, проведены исследования диспергаторов, которые будут использоваться в дальнейшем для увеличения конверсии реакции.

**Ключевые слова:** пиролиз метана; бирюзовый водород; технология получения водорода; стенд для пиролиза метана; параметры пиролиза метана.

## Список литературы

1. Арутюнов В.С., Веденеев В.И. Пиролиз метана в области температур 1000–1700 К // Успехи химии. 1991. Т. 60, № 12. С. 2663–2684.
2. Бедарев И.А., Пармон В.Н., Федоров А.В., и др. Численное исследование процесса пиролиза метана в ударных волнах // Физика горения и взрыва. 2004. Т. 40, № 5. С. 91–101.
3. Директор Л.Б., Зайченко В.М., Майков И.Л., и др. Исследование процесса пиролиза метана при фильтрации через нагретую пористую среду // Теплофизика высоких температур. 2001. Т. 39, № 1. С. 89–96.
4. Кудинов И.В., Пименов А.А., Михеева Г.В. Моделирование термического разложения метана и образования твердых углеродных частиц // Нефтехимия. 2020. Т. 60, № 6. С. 781–785. DOI: 10.31857/S002824212006012X
5. Кудинов И.В., Пименов А.А., Михеева Г.В. Исследование термонапряженного состояния кварцевого реактора для получения водорода при пиролизе метана // Тезисы докладов XXXVI Сибирского теплофизического семинара. Новосибирск, 2020. 300 с.

---

### *Сведения об авторах:*

**Евгений Валерьевич Керосиров** — студент, группа 4-ИТФ-3, инженерно-технологический факультет; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: kerosirov@yandex.ru

**Алексей Викторович Гришин** — студент, группа 5-ИНГТ-9А, институт нефтегазовых технологий; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: grishin.leshagrishin@yandex.ru

**Виктор Дмитриевич Долгих** — инженер, институт нефтегазовых технологий; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: torressva12@yandex.ru

**Игорь Васильевич Кудинов** — научный руководитель, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры физики; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: igor-kudinov@bk.ru