

# ГИДРАТООБРАЗОВАНИЕ В СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЯХ ВОДЯНОГО ПАРА И ГАЗА

*Файзуллин М.С., Виноградов А.В., Томин А.С.,\*  
Коверда В.П.*

*ИТФ УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

*\*andrey.itf.2017@yandex.ru*

Цель настоящей работы — экспериментальное исследование формирования газовых гидратов при конденсации нанокластеров в сверхзвуковых молекулярных пучках разреженного водяного пара и газа в вакууме.

Формирование газового гидрата наблюдали в вакуумной камере с охлаждаемыми жидким азотом стенками. Давление в камере перед опытом не превышало  $10^{-3}$  мм рт. ст. Встречные молекулярные пучки разреженного пара и этана одновременно поступали в камеру через сопла Лавалья, которые разгоняли их до сверхзвуковой скорости. Адиабатическое расширение молекулярного потока разреженного пара на выходе из сопла обеспечивает понижение температуры и образование кристаллических нанокластеров льда кубической алмазоподобной структуры. Образование кластеров льда сопровождается захватом молекул газа и формированием кристаллогидратной фазы. Изменением давления на входе в сверхзвуковое сопло регулировали расход пара и, как следствие, производительность газового гидрата. Охлаждение стенок камеры жидким азотом позволяло сохранять его неограниченное время.

При нагревании кристаллический конденсат сохранялся вплоть до температуры плавления образца. Самоконсервация обеспечивала его устойчивость в метастабильном состоянии при температурах значительно выше равновесной температуры диссоциации гидрата этана.

Содержание газа в закристаллизованном водно-газовом продукте превышало 50 масс. %. Такое содержание достигалось за счет дополнительной сорбции газа при образовании кристаллического конденсата, который представлял собой насыщенную газом нанопористую среду, содержащую кристаллогидратную фазу и кристаллический лед.

Результаты этих опытов представляют интерес в связи с разработкой экономичных и безопасных технологий хранения и транспорта газов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 18-08-00352-а, № 18-38-00443 мол-а) и Программы фундаментальных исследований УрО РАН (проект № 18-2-2-3).