



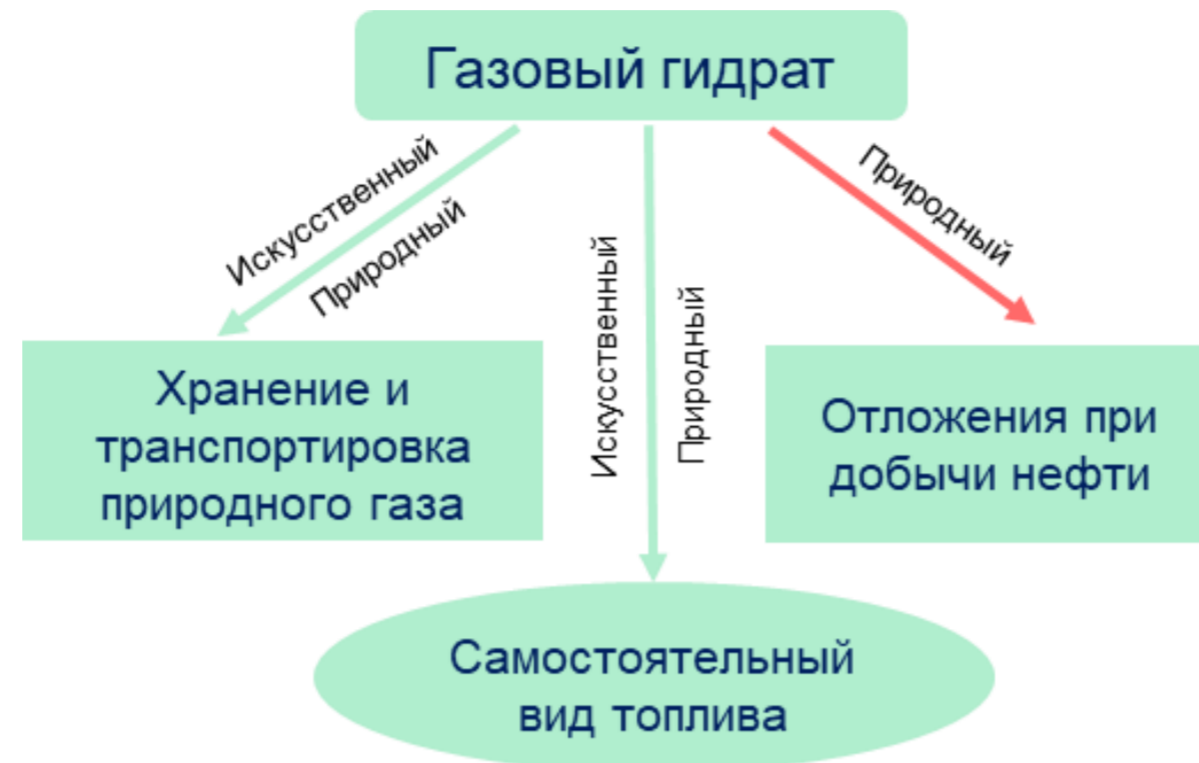
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ЗАЖИГАНИЯ ГАЗОВОГО ГИДРАТА ПРИ НАГРЕВЕ РАДИАЦИОННЫМ И КОНВЕКТИВНЫМ ТЕПЛОВЫМИ ПОТОКАМИ*

О.С. Гайдукова, П.А. Стрижак

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: osy1@tpu.ru

Актуальность исследования



В изучении газовых гидратов можно выделить четыре основных направления: добыча природного газового гидрата, процесс производства газового гидрата, транспортировка и характеристики процесса горения и зажигания. Исследование процессов зажигания и горения газовых гидратов представляет значительный интерес для решения задач расширения топливной базы на территориях с экстремальными климатическими условиями, обеспечения ресурсной безопасности и удовлетворения потребностей в доступной чистой энергии [1].

Газовые гидраты представляют ледоподобные, кристаллические, каркасные соединения, образованные водой и природным газом при высоком давлении и низкой температуре. Они распространены во всем мире, имеют высокую плотность энергии и являются экологически чистым энергетическим источником с большим потенциалом [2].



Цель работы – теоретическое исследование закономерностей горения газовых гидратов при нагреве радиационным и конвективным тепловыми потоками.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТЕНДЫ

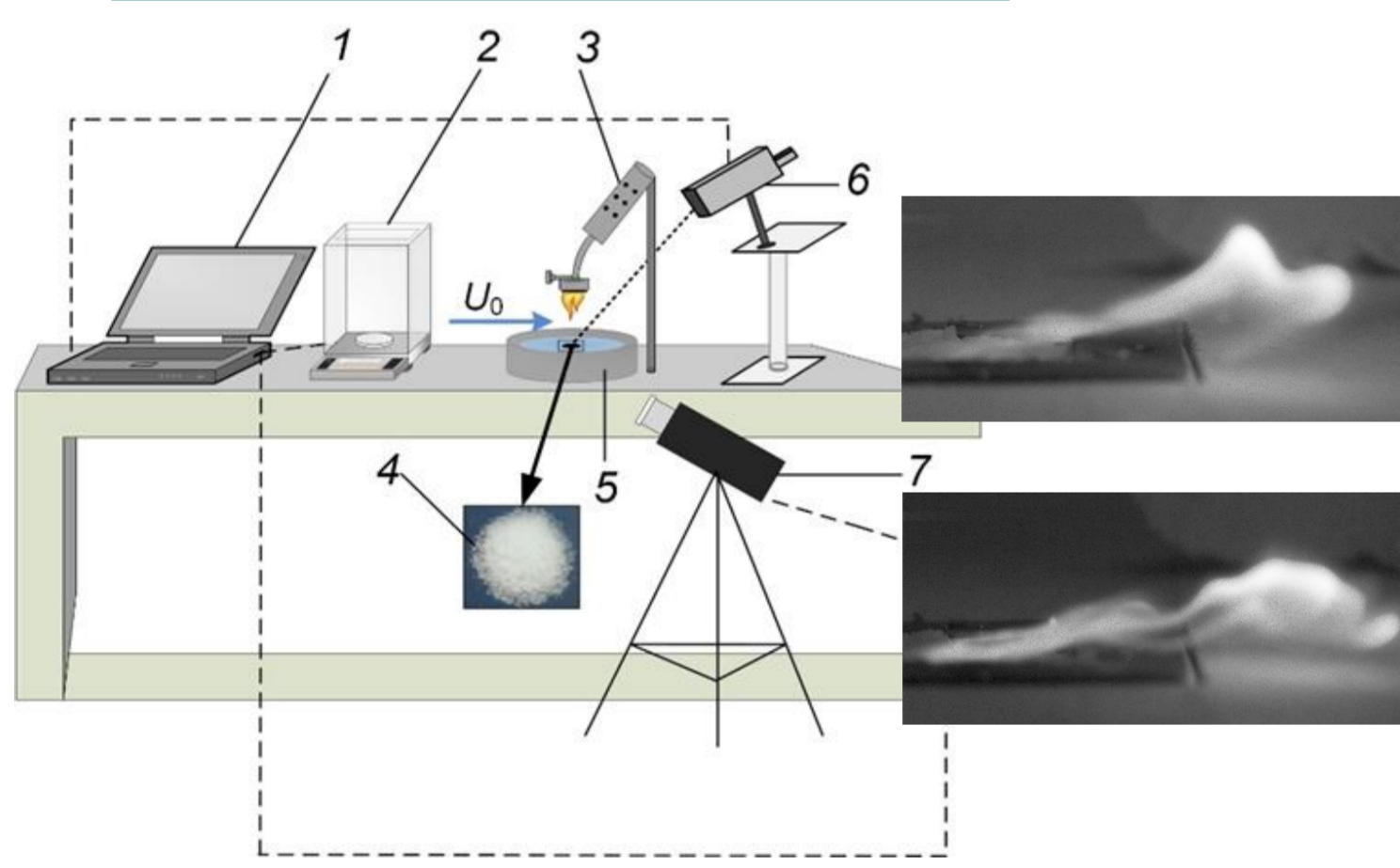


Рис. 1. Схема экспериментального стенда при горении газового гидрата при конвективном теплообмене: 1 – теплоизолятор; 2 – электронные весы; 3 – горелка; 4 – газовый гидрат; 5 – скоростная видеокамера [3]

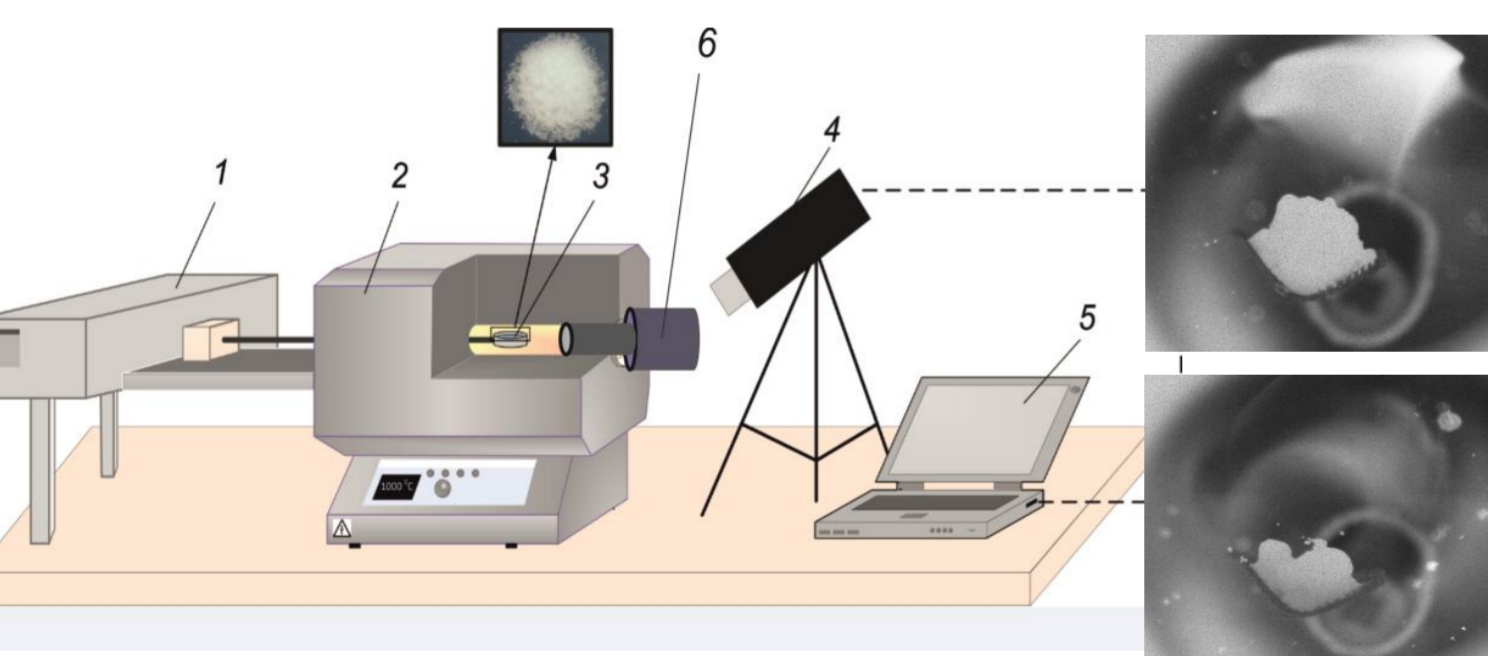


Рис. 2. Схема экспериментального стенда при горении газового гидрата в муфельной печи: 1 – координатное устройство; 2 – муфельная печь; 3 – образец топлива; 4 – скоростная видеокамера; 5 – ПК; 6 – газовый хроматограф [3]

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

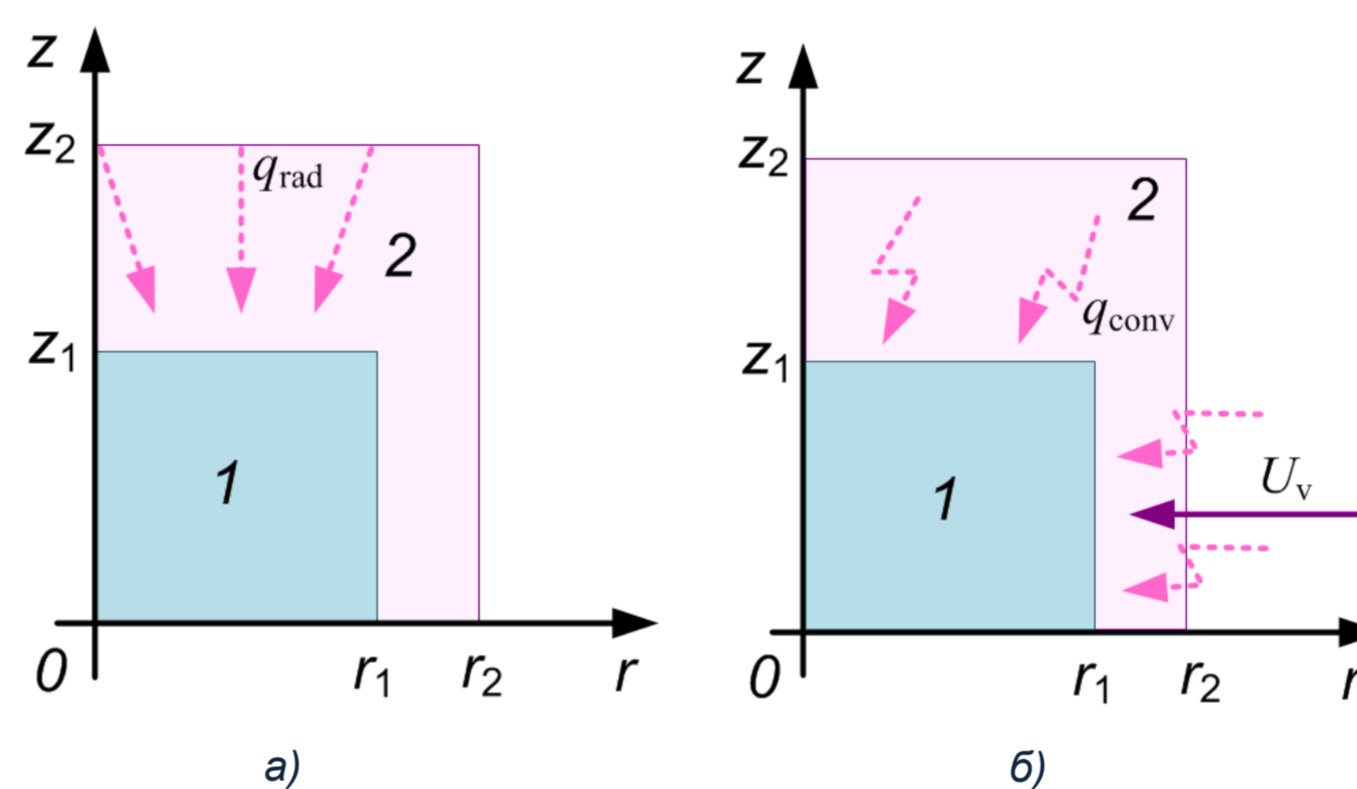


Рис. 3. Схема области решения задачи теплопереноса (а) при конвективном нагреве; (б) при радиационном нагреве: 1 – газовый гидрат; 2 – воздух

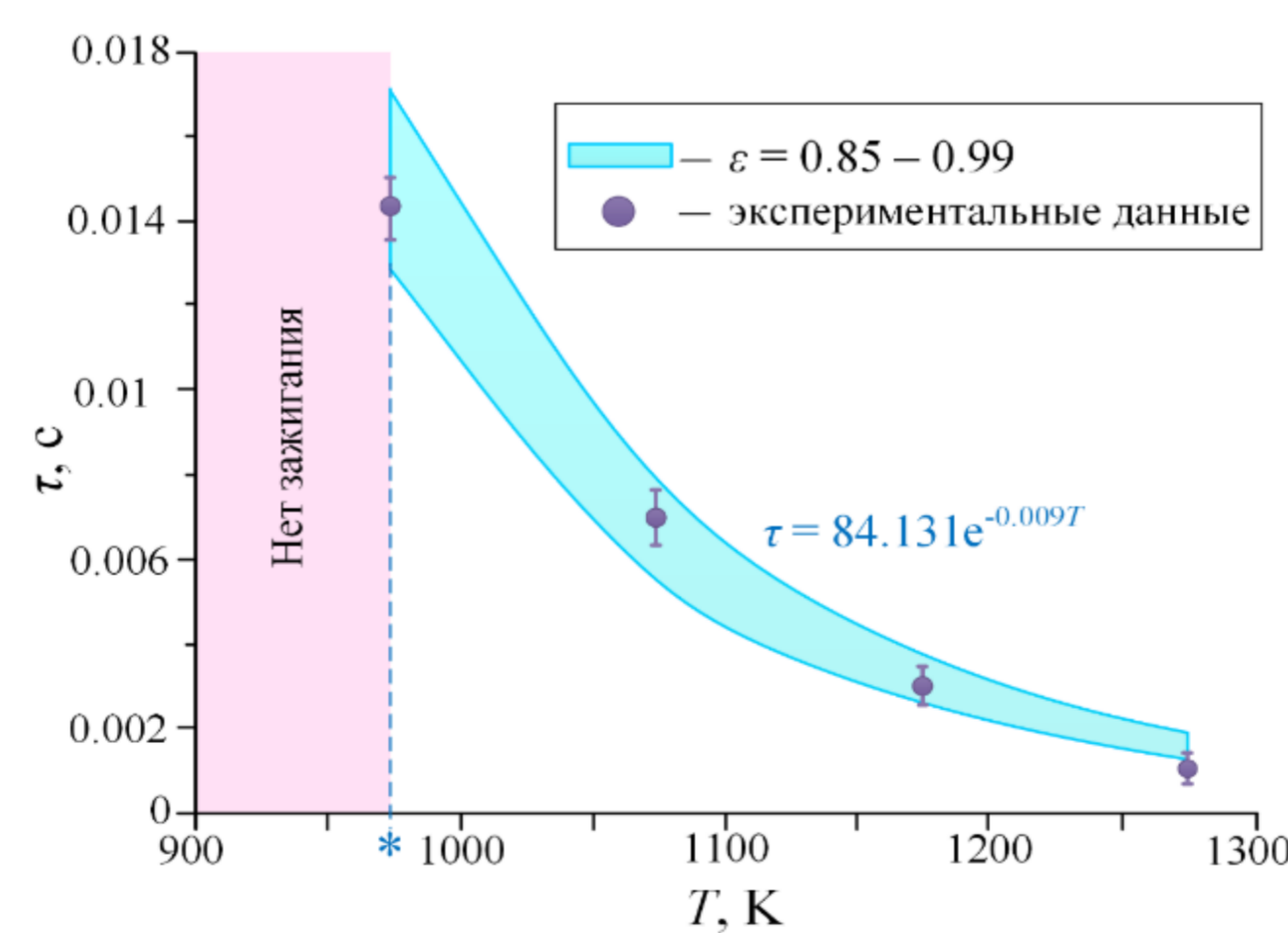


Рис. 4. Область (выделена цветом) устойчивого зажигания газового гидрата в условиях смешанного (радиационного и конвективного) нагрева при разных степенях черноты (* – предельная температура воздуха необходимая для инициирования процесса зажигания газового гидрата) [4]

Таблица 1. Термокинетические константы моделирования процессов прогрева, испарения, зажигания гидрата

Константа	Обозначение	Значение	Единицы измерения
Энергия активации реакции окисления паров горючего	E_a	$145 \cdot 10^3$	Дж/моль
Предэкспоненциальный множитель реакции окисления паров горючего	k_0	$7.4 \cdot 10^8$	c^{-1}
Тепловой эффект реакции окисления	Q_r	$14.644 \cdot 10^6$	Дж/кг
Теплота испарения воды	Q_{isp}	$2.2 \cdot 10^6$	Дж/кг
Теплота диссоциации гидрата	Q_{gldr}	10^8	кДж/кг
Массовая скорость диссоциации гидрата	w_{gldr}	0.01	кг/(м ² ·с)

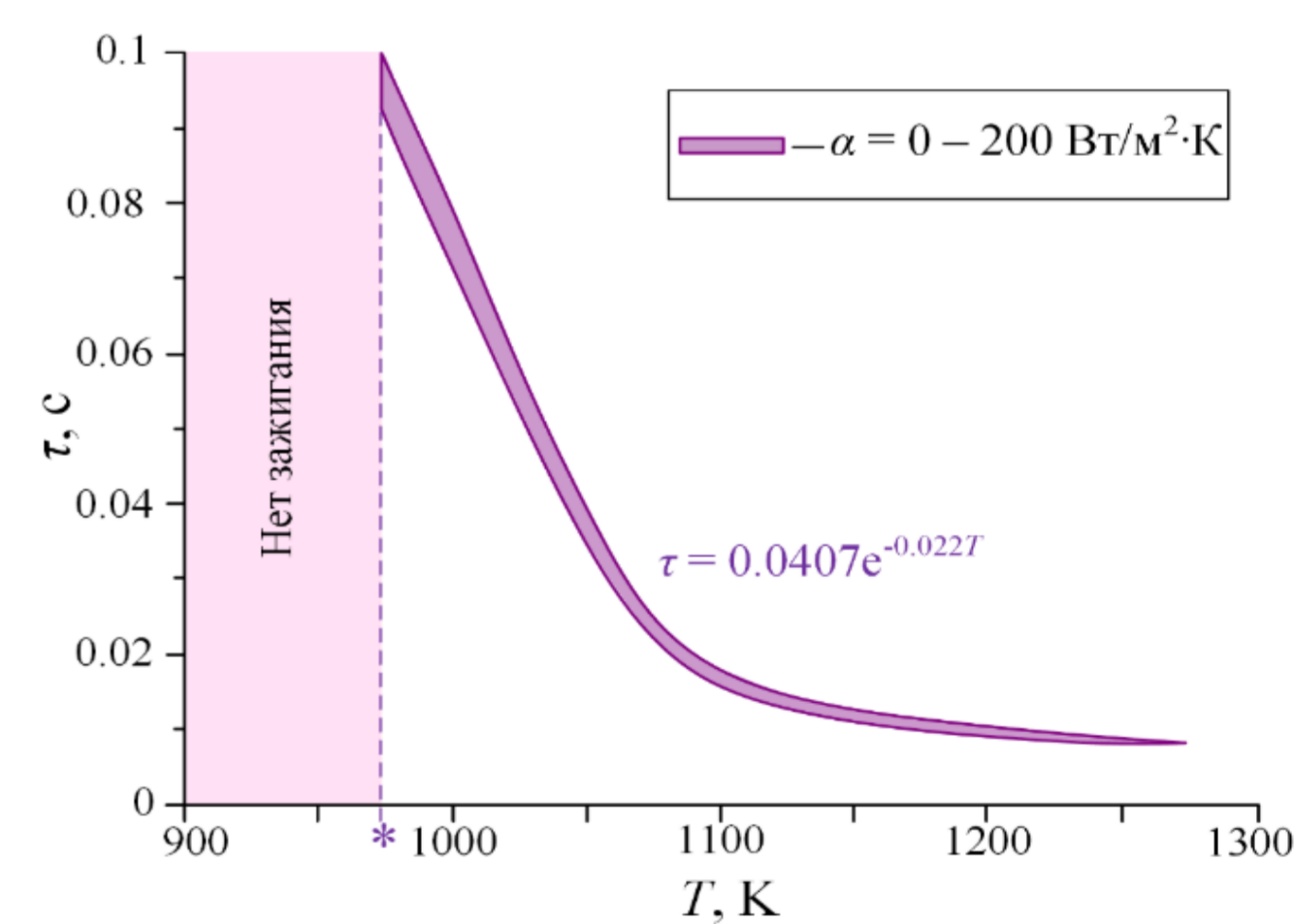


Рис. 5. Область (выделена цветом) устойчивого зажигания газового гидрата в условиях конвективного нагрева при разных коэффициентах теплообмена (* – предельная температура воздуха необходимая для инициирования процесса зажигания газового гидрата) [4]

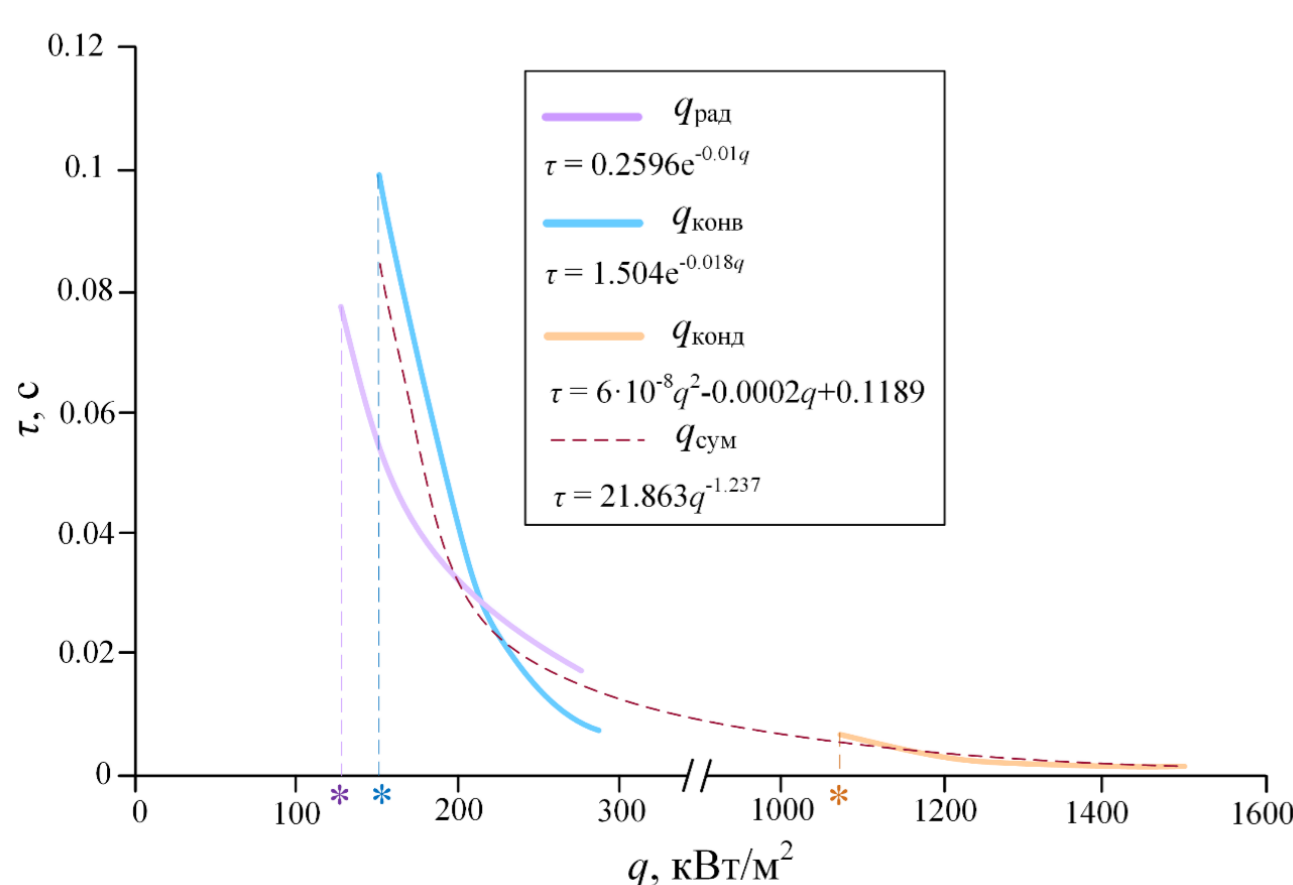


Рис. 6. Плотности теплового потока при радиационном, конвективном и кондуктивном зажигании газового гидрата при температурах нагрева 973–1273 К и аппроксимационные выражения для времен задержки зажигания газовых гидратов (* – предельная плотность теплового потока, при которой происходит зажигание газового гидрата при разных схемах нагрева) [4]

Выводы

- На основании результатов экспериментальных исследований разработаны физические и математические модели инициирования горения (т.е. первой стадии этого процесса – зажигания) газового гидрата при нагреве радиационным и конвективным тепловыми потоками.
- Минимальная температура внешней среды, необходимая для зажигания газового гидрата, составляет около 973 К. Для рассмотренного газового гидрата времена задержки зажигания составляют не более 0.1 с.
- Установлено, что в условиях конвективного нагрева наблюдается снижение времени задержки зажигания газовых гидратов (до 8 %) при изменении коэффициента теплообмена в диапазонах 0–200 Вт/(м²·К), что соответствует скорости потока воздуха от 0 до 6 м/с.
- При радиационном нагреве происходит значительное снижение времени задержки зажигания газовых гидратов (до 29 %) при росте степени черноты в диапазонах 0.85–0.99, что соответствует типичным материалам стенок муфельной печи и различных современных камер сгорания.
- Установлено, что предельные плотности теплового потока, при которых происходит зажигание газового гидрата для схемы с радиационным нагревом составляет 127 кВт/м²; для конвективного нагрева – 149 кВт/м²; для кондуктивного нагрева – 1078 кВт/м². Соответствующие отличия для трех схем нагрева обусловлены существенной разницей нагреваемых площадей поверхности образцов топлив. Чем выше значение этой площади, тем больше массовая концентрация вдуваемых паров горючего, интенсивнее протекает их взаимодействие с окислителем, и ускоряется процесс зажигания.
- Получены аппроксимационные выражения для зависимостей времен задержки зажигания от ключевых параметров. Их можно использовать при определении взаимосвязей между основными и второстепенными исходными параметрами, и характеристиками процесса инициирования горения гидратов.

Литература

- Chen B. Visualization study on the promotion of natural gas hydrate production by water flow erosion // Fuel. 2019. No. 235. P. 63–71.
- Gao Q, Yin Z, Zhao J, Yang D, Linga P. Tuning the fluid production behavior of hydrate-bearing sediments by multi-stage depressurization // Chemical Engineering Journal. 2021. V. 406. Article number 127174.
- Misyura S.Y., Manakov A.Y., Nyashina, G.S., Gaidukova O.S., Morozov V.S., Skiba S.S. Gas hydrate combustion in five method of combustion organization // Entropy. 2020. V. 22(7). Article number 10.
- Gaidukova O.S., Misyura S.Y., Strizhak P.A. Investigation of the ignition of gas hydrates with different heating schemes // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. - 2021, Article in press.