



РОСАТОМ



УСЛОВИЯ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ ПАРО-ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

О.В. Валеева

Ю.Ф. Давлетчин

И.А. Доровских

И.В. Лавренюк

М.В. Никульшин

А.В. Ушков

В.Н. Федюшкин

О.В. Шульц

Современный подход

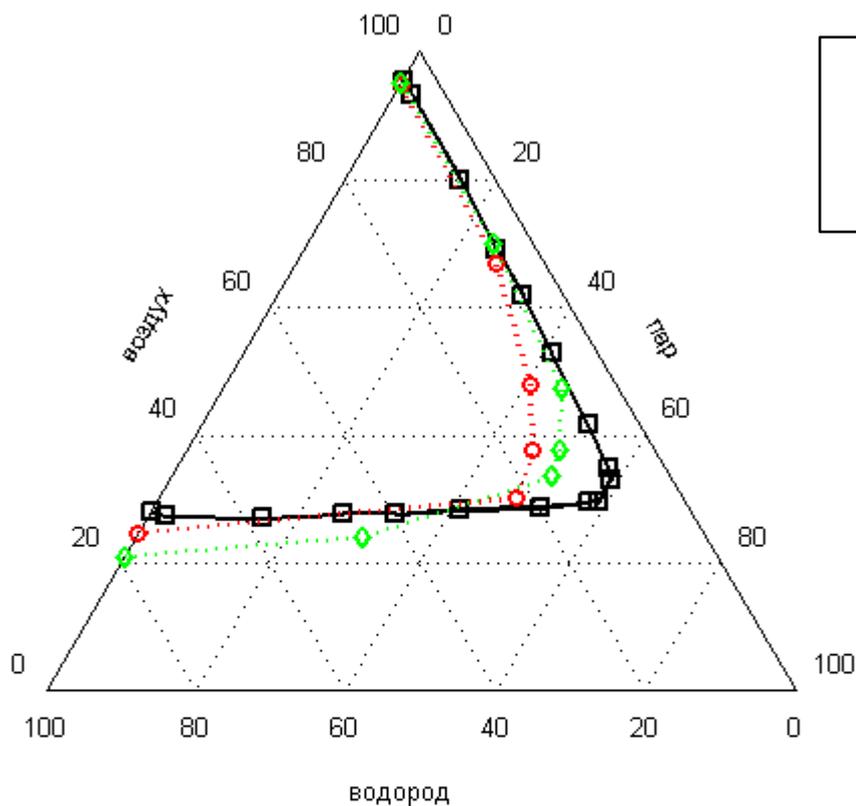


- В настоящее время для оценок возможности воспламенения ВПГС используется диаграмма Шапиро-Моффетти, приведённая в работе 1957 г и построенная по данным работы [*Jesse S. Yeaw and Louis Shnidman - The Extinction of Gas Flames by Steam 1938*] и работы [*M.G. Zabetakis Research on the combustion and explosion hazards of hydrogen-water vapor-air mixtures. Final report 1956*].

- Кривая построена для атмосферного давления и соответствует температурам и составам на линии насыщения водяного пара в диапазоне 20-86 °С.

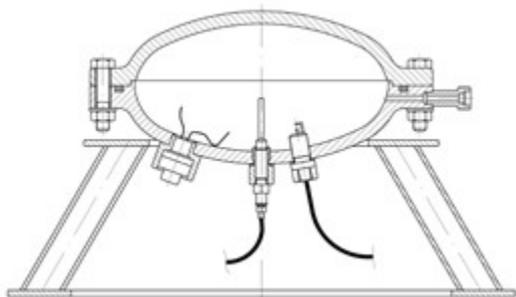
- Для проектных расчётов данную кривую экстраполируют на весь диапазон давлений и температур, характерных для ТА.

Диаграмма Шапиро-Моффетти

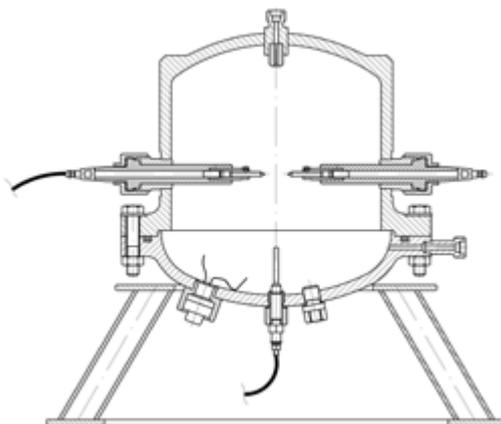


- 24 °C, 1 атм [Yeaw, Shnidman]
- ...○... 150 °C, 1 атм [Zabetakis]
- ...◇... 150 °C, 6.8 атм [Zabetakis]

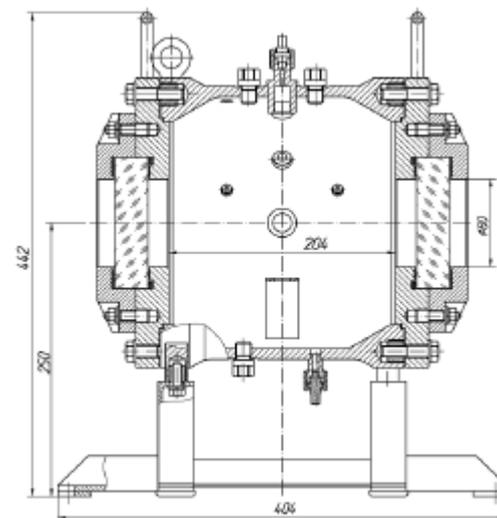
Модернизация камеры



Камера с эллиптической крышкой с объемом $\approx 2,2$ л



Камера объемом ≈ 6 л



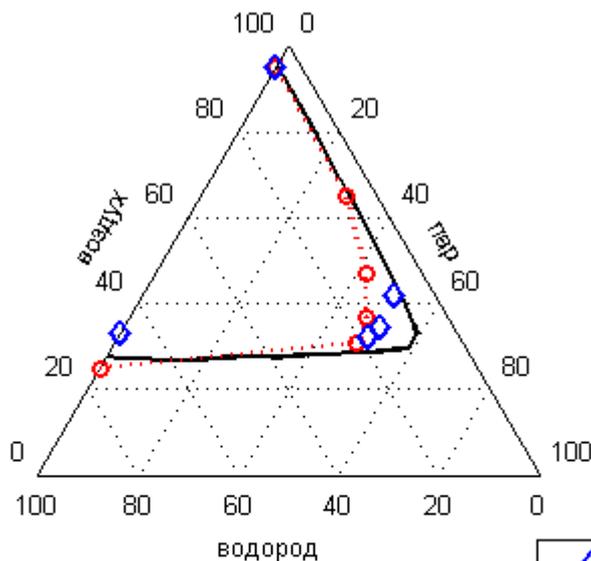
камера объемом 7,8 л с окнами для оптических измерений

Результаты экспериментов

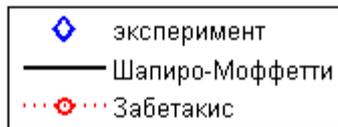
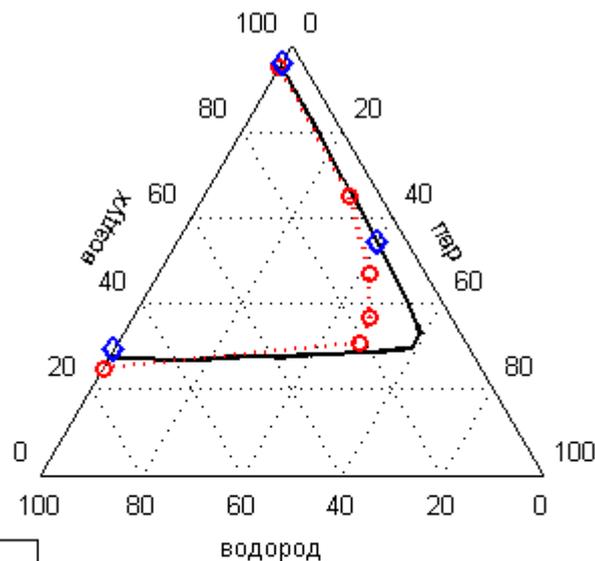


• Для построения поверхности концентрационных пределов воспламенения были выполнены экспериментальные исследования и получены новые данные.

$P=98 \text{ кПа}; T=110 \text{ }^\circ\text{C}$

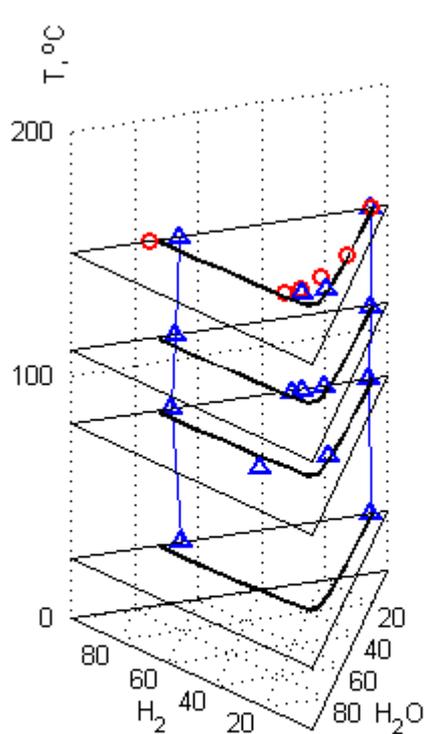


$P=196 \text{ кПа}; T=200 \text{ }^\circ\text{C}$

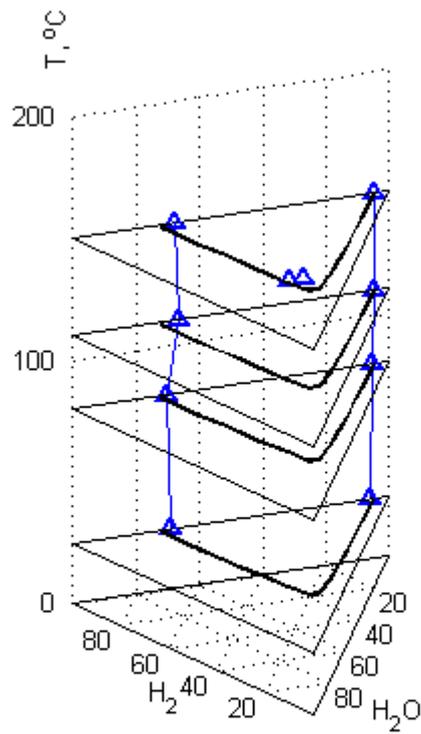


Результаты экспериментов

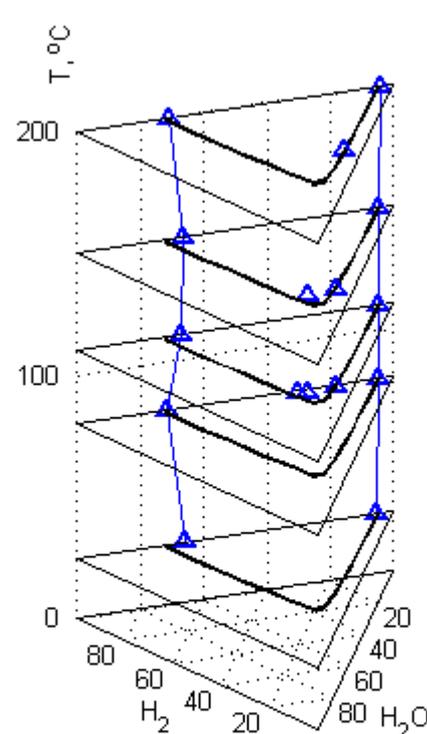
- Концентрационные пределы воспламенения при разных Р и Т



$P=98$ кПа



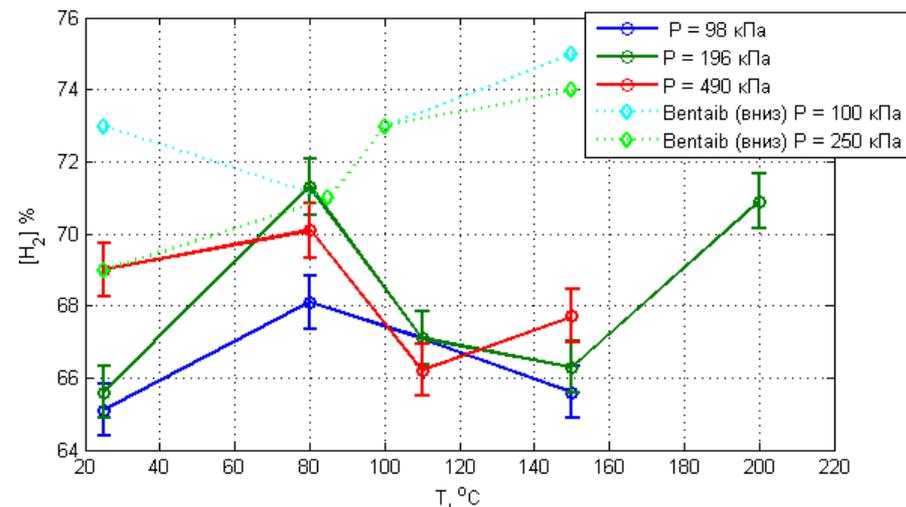
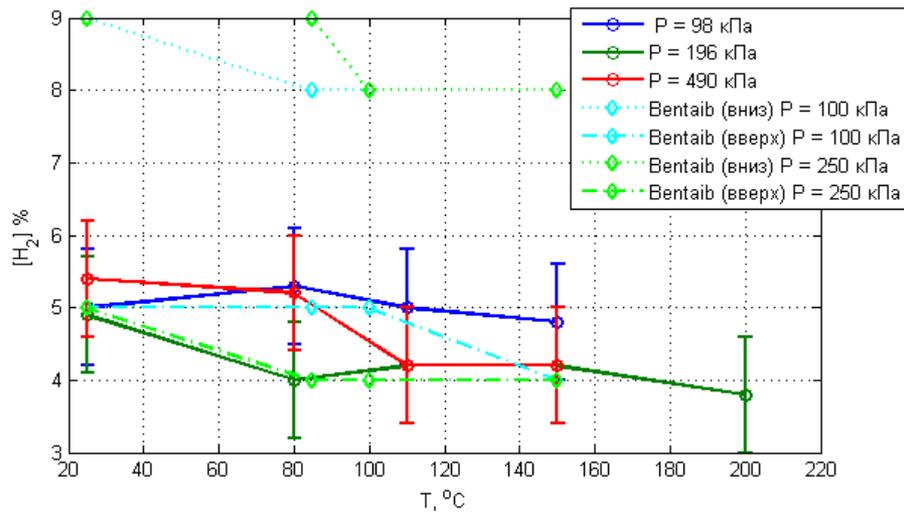
$P=490$ кПа



$P=196$ кПа

Влияние давления и температуры

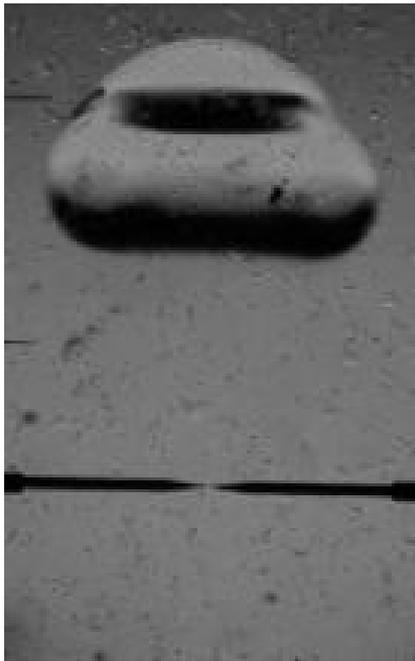
• Влияние начальных температуры и давления в системе на пределы воспламенения ВПГС имеет немонотонный характер



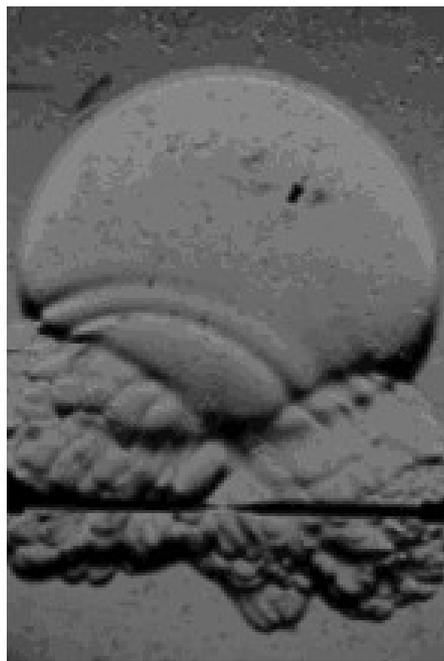
Результаты экспериментов



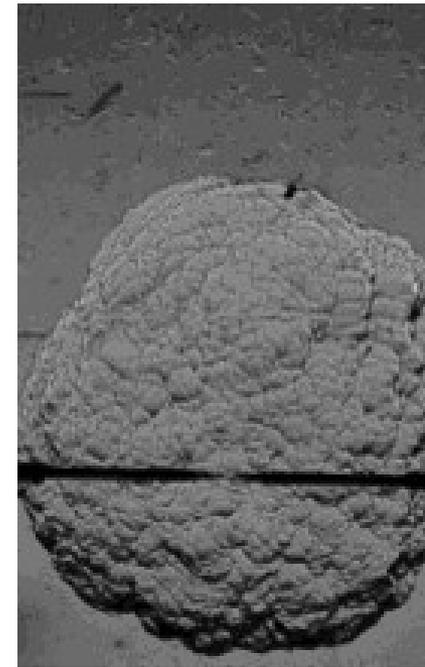
- Характер распространения пламени в смесях различного состава



6-% H₂



8-% H₂



16-% H₂

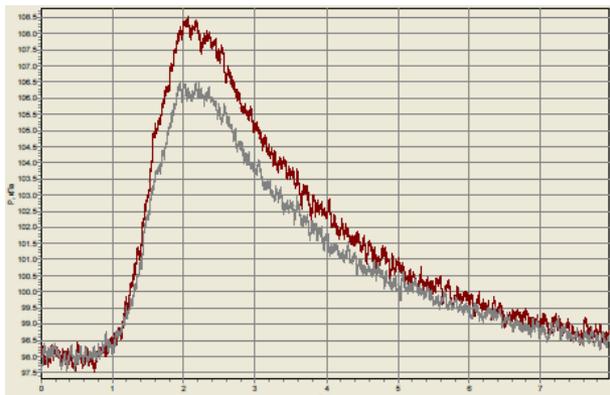
- Теневые изображения получены на установке МУТ

[Yu. A. Kucherenko, A.V. Pavlenko, O.E. Shestachenko, S.I. Balabin, A.P. Pylaev, and A.A. Tyaktev, Measurement of spectral characteristics of the turbulent mixing zone, Journal of Applied Mechanics and Technical Physics, Vol. 51, No. 3, pp. 299-307, 2010.]

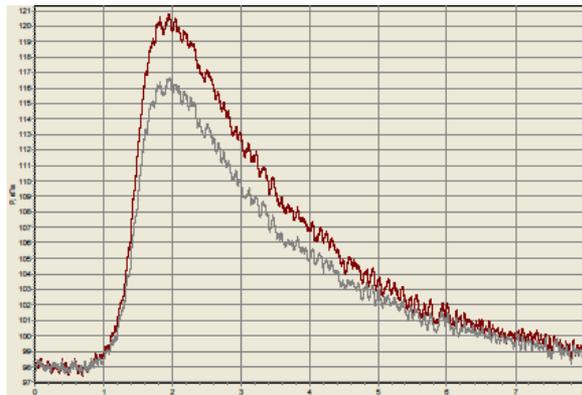
Результаты экспериментов



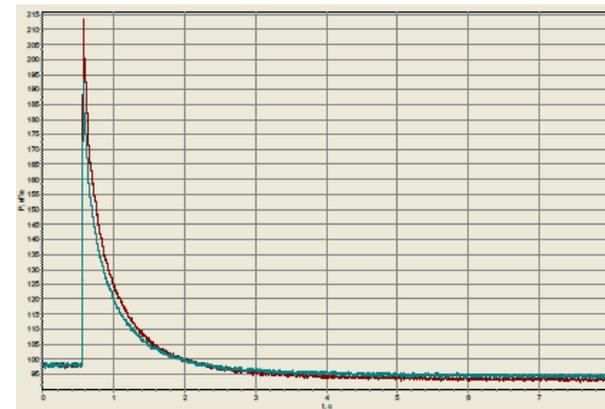
- Скорость нарастания давления в «сухих» смесях водород воздух при начальной температуре 25 °С и давлении 98 кПа



5,6% H₂
ΔP = 10 кПа



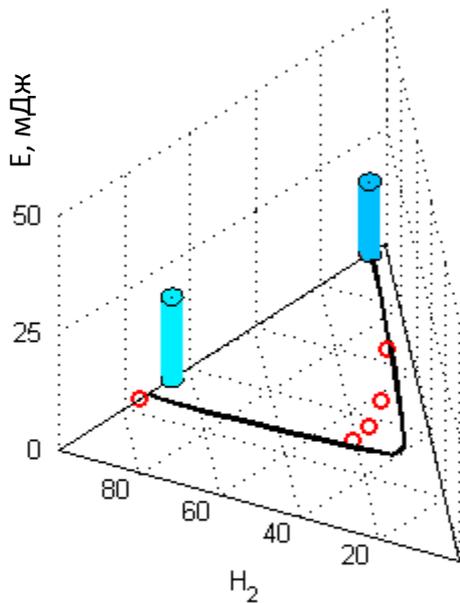
10% H₂
ΔP = 82 кПа



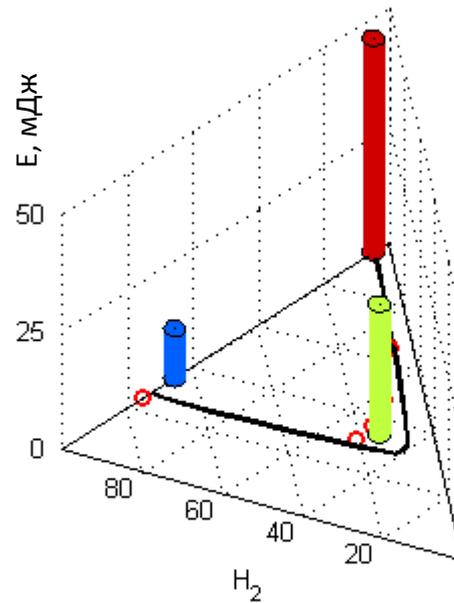
65% H₂
ΔP = 116 кПа

Энергия инициирования

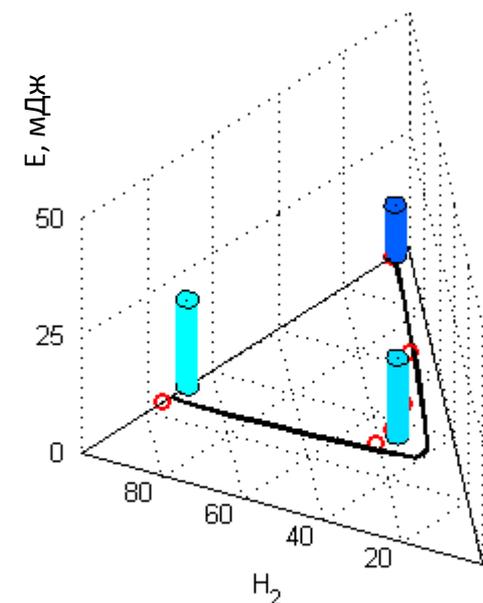
- Энергии инициирования предельных смесей (мДж)



$P=98$ кПа
 $T=25$ °C

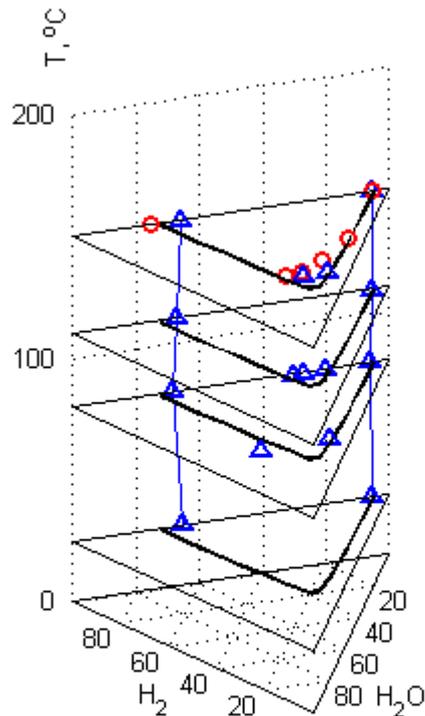


$P=98$ кПа
 $T=150$ °C



$P=490$ кПа
 $T=150$ °C

Уточнение ПКПВ



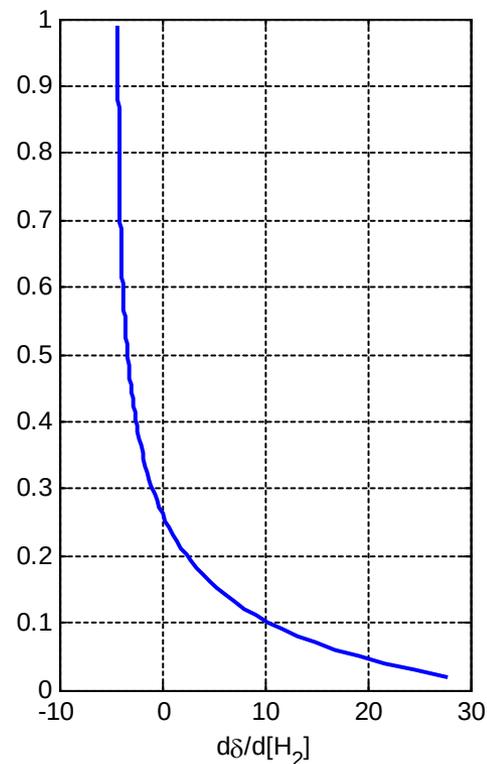
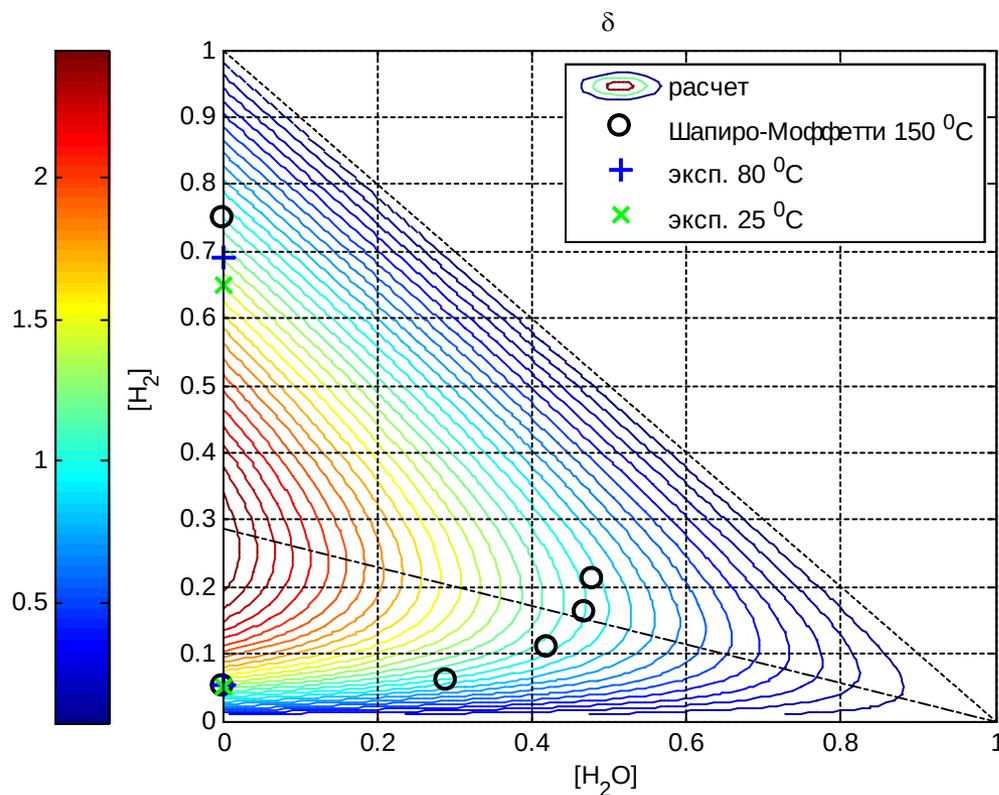
$P=98$ кПа

• Для построения ПКПВ по экспериментальным точкам в пространстве давлений, температур и составов необходимо:

- **5-7** сечений по давлению
 - **5-7** сечений по температуре
 - **7-10** составов в каждом сечении
 - **7-10** составов дополнительно для построения трёхлистной нижней границы
- Итого **350-980** экспериментальных точек

Математическая модель ПКПВ

- Частичной альтернативой и дополнением для большой экспериментальной программы является математическое моделирование



Выводы



- Зависимость концентрационных пределов воспламенения ВПГС от давления и температуры имеет немонотонный характер.
- В бедных водородом смесях можно выделить режимы распространения пламени:
 - только вверх;
 - вверх и в стороны;
 - во всех направлениях.
- В богатых водородом смесях пламя распространяется во всех направлениях.
- Целесообразно учитывать влияние давления, температуры и других факторов на пределы воспламенения.
- Зависимость пределов воспламенения от всех влияющих факторов можно представлять в виде поверхности концентрационных пределов.
- Для более точного построения поверхности концентрационных пределов требуется большой объём экспериментальных исследований.
- Для ускорения экспериментальных исследований требуется усовершенствование и частичная автоматизация экспериментальной установки.
- Для сокращения количества и одновременного повышения информативности экспериментов необходимы дополнительные теоретические исследования.

Спасибо за внимание