

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ДЛИНЕ ГОРЯЩЕЙ СТРУИ ВОДОРОДА ПРИ ИСТЕЧЕНИИ ИЗ БАЛЛОНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

*В. В. Стаханов, Д. А. Мастюк, Е. В. Безgodов, М. В. Никифоров, С. Д. Пасюков,  
А. А. Тараканов, И. А. Попов, Ю. Ф. Давлетчин*

ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина», Снежинск, Россия

С целью снижения углеродного следа в настоящее время активно развивается направление водородной энергетики, в рамках которой планируется использование водорода в качестве средства для аккумулирования, транспортировки, производства и потребления энергии. Для хранения и транспортировки водорода используются баллоны, в которых водород содержится под давлением до 70 МПа, ведутся разработки баллонов для хранения водорода под давлением до 100 МПа. В случае аварийной разгерметизации баллона возможно самовоспламенение струи [1], либо воспламенение от слабого источника энергии порядка  $10^{-4}$  Дж с образованием горящего факела водорода, длина которого может достигать несколько метров, а в случае больших диаметров отверстия и несколько десятков метров. Для обеспечения безопасности персонала и окружающего оборудования при развитии потенциальной аварийной ситуации необходимо знать зону термического поражения, что особенно важно для водорода, поскольку его пламя практически невидимо человеческим глазом.

При определении опасных зон от термического воздействия горящего факела водорода представляет интерес получение данных в режиме импульсного истечения струи, поскольку он реализуется уже при давлении водорода в сосуде около 0,2 МПа. Цель настоящей работы – получение экспериментальных данных для оценки длины горячей струи при истечении водорода в горизонтальном направлении из сосуда под высоким давлением. Проводились эксперименты с истечением водорода через отверстия различного диаметра с воспламенением и без воспламенения струи. Измерялась температура и давление водорода в сосуде. В экспериментах без воспламенения измерялась объемная доля водорода в различных точках вдоль плоскости истечения, а в экспериментах с воспламенением фиксировалась длина факела с помощью высокоскоростной видеосъемки в видимом и инфракрасном диапазонах.

По результатам экспериментов без воспламенения получены эмпирические выражения для приведенной на диаметр отверстия длины струи водорода, при которой содержание водорода было выше нижнего концентрационного предела воспламенения ( $\geq 4$  об. %), в зависимости от давления в сосуде, вплоть до 15 МПа. По результатам экспериментов с воспламенением получено эмпирическое выражение приведенной на диаметр отверстия видимой длины горячей струи водорода в зависимости от давления, вплоть до 50 МПа. Максимальные значения видимой длины горячей струи водорода хорошо согласуются с зависимостью, предложенной в работе [2].

## Литература

1. **Golub, V. V.** Shock-induced ignition of hydrogen gas during accidental or technical opening of high-pressure tanks [Text] / V. V. Golub, et al. // J Loss Prevention in the Process Industries. – Vol. 20. – P. 4–6.
  2. **Molkov, V.** Hydrogen jet flames [Text] / V. Molkov, J.-B. Saffers // International Journal of Hydrogen Energy. – 2013. – Vol. 38. – P. 8141–8158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.08.106>.
-