Скоростная видео- и тепловизионная съемка крупномасштабного плазменного тороидального вихря в атмосферном воздухе

Вагонов С.Н.\*, Камруков А.С., Козлов Н.П., Тартынов И.В.\*, Озеренский А.П.\*

НИИ энергетического машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия,  
\*НИИ прикладной химии, г. Сергиев Посад, Моск. обл., Россия, [kamrukov@mail.ru](mailto:kamrukov@mail.ru)

Представлены результаты скоростной видео- и тепловизионной съемки динамики развития плазменного тороидального вихря (ПТВ) в атмосферном воздухе. Вихрь создавался в результате синхронной инжекции в воздух семи высокоскоростных (10...15 км/с) плазменных струй, формируемых взрывным кумулятивным генератором с запасаемой химической энергией ~1 МДж (масса ВВ-0,2кг). В качестве плазмообразующего вещества использовался алюминий. Характерное время выделения энергии в кумулятивном процессе ~15 мкс.

Съемка производилась с расстояния 300м с помощью скоростных цифровых камер с частотой следования кадров: в видимом диапазоне (Δλ=0,4..0,8мкм)-600 кадров/с, в средней ИК области (Δλ=3...5мкм)-100 кадров/с. Одновременно осуществлялась фотоэлектронная регистрация излучения вихря в различных интервалах спектральной области Δλ=0,2...1,1мкм. Согласно измерениям, максимальная мощность излучения вихря достигалась на ~0,6мс с момента подрыва и составляла ~2МВт/ср при полной, регистрируемой фотоприемниками длительности импульса ~20мс. Цветовая температура вихря изменялась от 12...15кК в начальной стадии формирования ПТВ до 3,3...3,5кК в максимуме излучаемой мощности.

На рис. 1 и 2 представлены кадры скоростной видео- и тепловизионной съемки ПТВ.

kamr1.tif

**5м**

Рис.1. Кадры скоростной видеосъемки ПТВ.

Момент времени: *1*-1,5мс; *2*- 10 мс; *3* - 200 мс.

***1***

***2***

***3***

kamr2.tif

**10м**

Рис.2. Кадры скоростной тепловизионной съемки ПТВ.

Момент времени: *1*-10мс; *2*- 20 мс; *3* - 120 мс.

***1***

***2***

***3***

Анализ результатов скоростной видеосъемки показывает, что при срабатывании взрывного генератора в атмосферном воздухе образуется долгоживущее (τ≥100мс) плазменное образование в виде ярко светящегося шара диаметром 4..5м, практически не изменяющимся во времени. Плазменное образование имеет вихревую природу, которая в период его существования вуалируется свечением плазмы и проявляется при охлаждении (на ~200 мс) в виде дымового вихревого кольца (рис. 1-*3*). Радиус плазменного шара к 10 мс процесса (2...2,5м) соизмерим с радиусом воздушной ударной (акустической) волны, образующейся при взрыве сферического заряда ВВ такой же массы (0,2кг) - *Rув*~2,5м. Средняя скорость взрывной воздушной волны при этом составляет ~250 м/с.

На кадрах тепловизионной съемки диаметр светящейся области (теплового шара) на 10 мс составляет ~16,5м, на 20мс - 20м, после чего начинает медленно уменьшаться, достигая ~6 м к 300 мс. Эти измерения дают среднюю скорость расширения области теплового возмущения атмосферного воздуха к 10 мс ~825м/с, что в 3,3 раза превышает среднюю скорость газодинамического скачка давления.

В докладе обсуждаются возможные механизмы наблюдаемого явления.