

03;12

Анализ возможностей баллистических установок для исследований стратосферы

© Ю.Г. Тынников, В.А. Иванов

Центральный научно-исследовательский институт "Буревестник",
Н. Новгород

Поступило в Редакцию 3 декабря 1998 г.

Анализируется возможность проведения натуральных экспериментов с доставкой в стратосферу озonoактивных компонент выбросов (NO_2 , Cl_2 и др.) с помощью самоходной гаубицы калибра 203 мм.

Исследования атмосферы активными методами ведутся с 40-х годов с началом использования для этих целей пусков ракет. Кроме запусков ракет с измерительной аппаратурой производились запуски с выбросом дипольных отражателей и различных химических веществ. В 60-х годах для этих же целей стали применяться и артиллерийские орудия [1].

В последнее время в связи с обострением проблем экологии использование баллистических установок (артиллерийских систем) является более предпочтительным по сравнению с пуском ракет в связи с тем, что выстрел с поверхности земли баллистической установкой приводит к сжиганию меньшего количества топлива (пороха), образующиеся продукты сгорания распределяются в узком приземном слое, а не разносятся в высоких слоях атмосферы. К тому же с учетом высокой точности баллистического выстрела и малого разброса траекторий выстреливаемых капсул необходимая территория отчуждения во много раз меньше территории ракетного полигона.

Хотя исследования озонового слоя ведутся длительное время и интенсивность их возрастает, но исследований, аналогичных активным

экспериментам в атмосфере, для озонового слоя не проводилось. Само по себе антропогенное воздействие на озоновый слой и атмосферу в целом существует в виде продуктов разложения хлорфторуглеродов, эмиссии закиси азота, окиси углерода и других озonoактивных газов. Сильное воздействие на озоновый слой происходит при запуске космических ракет и при полетах стратосферной авиации [2].

Исследования влияния дозвуковой и сверхзвуковой авиации, а также пусков ракет-носителей на озоновый слой ведутся с 70-х годов, начиная с работ Джонстона [3]. Существуют различные модели расчетов влияния выбросов на озоновый слой (например, [4]), но для них требуются данные по скоростям реакций в условиях турбулентного перемешивания. Для реакций, развивающихся при выбросах продуктов сгорания топлив в стратосфере, невозможно воспроизведение в лабораторных исследованиях совокупности определяющих факторов стратосферных процессов (гравитационное ускорение, реальный спектр излучения и др.), что делает актуальной задачу натурального моделирования эффектов выбросов в стратосфере.

Ниже анализируется возможность проведения натуральных экспериментов с доставкой в стратосферу озonoактивных компонент выбросов (NO_2 , Cl_2 и др.) с помощью существующей баллистической установки. Ее применение позволяет адаптировать схему эксперимента к возможностям измерительных систем с использованием минимальных выбросов, что делает риск экологического воздействия гораздо меньшим, чем при запусках серийных ракет и полетах авиации. Точность выстрела, характеризуемая малой величиной разброса ($\sim 50\text{--}100\text{ m}$ на высоте $20\text{--}25\text{ km}$), позволяет рассматривать использование комбинации баллистической установки для доставки собственно активных веществ и небольшого стратостата для размещения измерительных приборов и проведения измерений непосредственно в облаке реагентов.

В качестве баллистической установки рассматривается штатная самоходная гаубица "Пион" калибра 203 mm . На рис. 1 показана зависимость высоты запуска от угла прицеливания при штатной массе снаряда 110 kg . Видно, что рассматриваемая установка имеет возможность доставить реагенты в диапазон высот $22\text{--}25\text{ km}$ с максимумом концентрации озона (для средних широт).

С учетом динамического давления в снаряде в момент выстреливания определен возможный объем для заполнения реагентом. При использовании в качестве реагентов жидких фаз веществ с плотностью

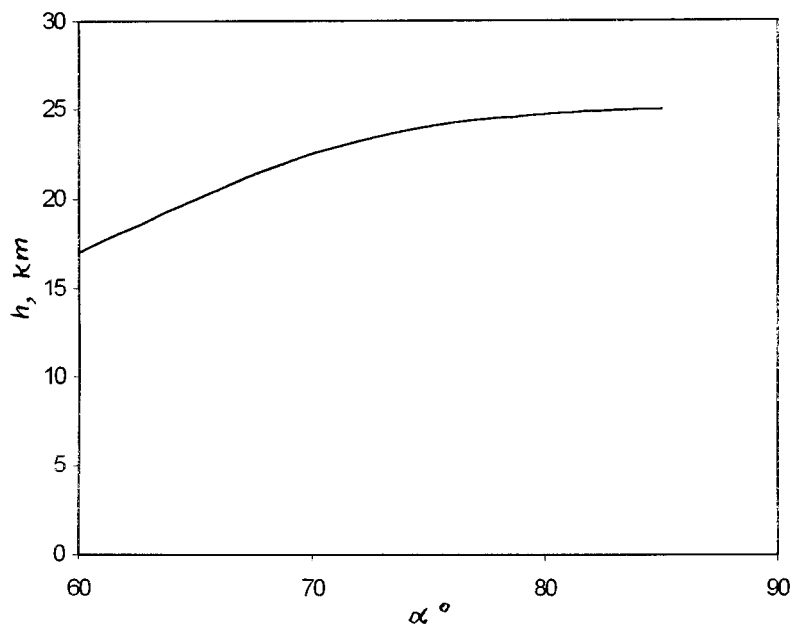


Рис. 1. Зависимость высоты запуска (h) от угла прицеливания (α) баллистической 203-мм установки.

$(1.0 - 1.5) \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ при ускорении снаряда $10\,000 \text{ g}$ в донной части снаряда действует динамическое давление $(1000 - 1500) \cdot 10^5 \text{ Pa}$. С учетом прочности оболочки корпуса допустимым является объем $20 - 30 \text{ l}$ с массой реагента $\sim 30 - 40 \text{ kg}$. Давление фазового перехода большинства жидкостей (H_2O , Cl_2 , N_2O_4 и др.) при температурах окружающей среды от -50 до $+50^\circ\text{C}$ достаточно мало (не более 15 atm), что обеспечивает возможность заправки капсул непосредственно перед пуском без необходимости хранения заправленных капсул в специальных условиях (термостатах).

Заполнение капсул сжатыми газами также возможно, но допустимые массы большинства газов, сжатых до нескольких сотен атмосфер, будут меньше, чем массы жидкофазных веществ. Наиболее эффективным является заполнение капсулы крупнодисперсными аэрозолями. В этом случае коэффициент заполнения может быть доведен до $0.5 - 0.6$, что при

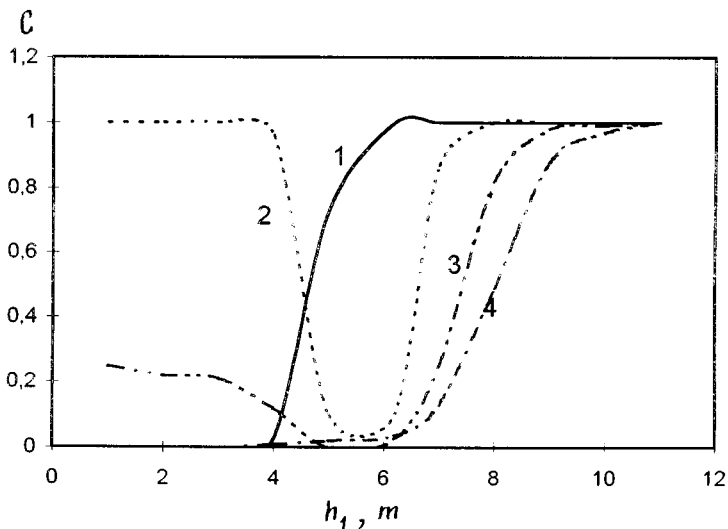


Рис. 2. Зависимость относительной концентрации озона (C) от вертикальной координаты (h_1) отсчитываемой от центра выброса (1 — 5 s, 2 — 20 s, 3 — 40 s, 4 — 60 s).

штатной общей массе капсулы 110 kg дает возможность доставлять за один выстрел 50–70 kg аэрозоля.

Приведенные характеристики показывают техническую возможность проведения обсуждаемых экспериментов.

Для оценки возможности регистрации выброса проведены расчеты развития облака реагентов и распределения концентрации озона в пространстве. Расчеты проведены по модели [5]. Рассмотрен мгновенный выброс 30 kg NO_2 и Cl_2 в неподвижную атмосферу на высоте 25 km. В начальный момент задается сферическая область с давлением, равным давлению в окружающей атмосфере. Затем происходит анизотропное расширение облака реагентов с одновременным быстрым уменьшением концентрации озона. По мере расширения облака и уменьшения концентрации реагента за время более 100 s начинается "медленное" восстановление озона в зоне воздействия. Качественно картина процесса аналогична представленной в [5]. В наших расчетах обнаружена стадия "быстрого" восстановления озона в центральной части облака

за время 10–40 с в случае выброса NO_2 (рис. 2). При времени более 40 с эта стадия сменяется новым обнулением концентрации озона. Существование такой стадии связано с реакцией фотодиссоциации NO_2 и она отсутствует при взаимодействии озонового слоя с выбросом хлора. Максимальное уменьшение общего содержания озона (ОСО) на луче, проходящем через центр облака, составляет 0.5–0.6% для обоих рассматриваемых реагентов и происходит через 5–7 min после выброса. При этом горизонтальный диаметр облака увеличивается до 400 m. Спектральные приборы [5], специально предназначенные для измерения короткопериодных вариаций озона, способны регистрировать $\sim 0.15\%$ изменения ОСО. При необходимости возможны повторные выстрелы через 5–10 min, позволяющие увеличивать массу реагентов в данном облаке или формировать цепочку облаков в заданном направлении. Таким образом, сочетание рассматриваемой баллистической установки с наземной и баллонной аппаратурой позволит при минимальных выбросах исследовать в реальных условиях стратосферы воздействие выбросов, а также возможность уменьшения вредных воздействий авиационных и ракетных двигателей.

Кроме доставки различных веществ в атмосферу баллистические установки могут использоваться для запуска диагностических капсул. В первую очередь это относится к заборникам проб воздуха, но и более сложная диагностическая аппаратура может доставляться выстрелом из баллистической установки с высоким начальным ускорением.

Для доставки малогабаритных приборов и небольших масс веществ нет необходимости использовать капсулы большого диаметра. В этом случае возможно применение баллистических установок калибром менее 203 mm. В таблице приведены данные по потолку запуска существующими штатными системами капсул со штатными массами при углах возвышения 80–85°.

Калибр, mm	Масса капсулы, kg	Дульная скорость, m/s	Потолок запуска, km
76	6.2	680	7.5
85	9.5	790	9.8
100	15.6	900	12.4
130	33	970	16.1
152	43.6	810	14.4
203	110	960	25

Видно, что в штатном исполнении только немногие системы позволяют достичь стратосферных высот. За счет уменьшения массы капсулы с одновременным уменьшением ее калибра (подкалиберная схема выстрела) можно существенно увеличить потолок запуска по сравнению с данными таблицы.

Список литературы

- [1] *Murphy C.H., Bull G.V.* // J. Geophys. Res. 1967. V. 72. N 19. P. 223–226.
- [2] *Scientific assessment of ozone depletion: 1991.* — Geneva: WMO Global Ozone Reserch and Monitoring Project. Report N 25. 1992.
- [3] *Johnston H.S.* Reduction of stratospheric ozone by nitrogen oxide catalysts from SST exhaust // Science. 1971. V. 173. N 3996. P. 679–689.
- [4] *Давлеткин Р.Ф., Лохов Г.М., Яценко О.В.* // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 19. С. 5–9.
- [5] *Александров Э.Л., Батомонкуева Г.В.* // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 1995. Т. 31. № 1. С. 146–150.
- [6] *Никифорова Н.К., Терёб Н.В.* // Метеорология и гидрология. 1991. № 1. С. 108–110.