

01;04;07

## Лазерная ракета

© Р.А. Лиуконен

Всероссийский научный центр "Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова", С.-Петербург  
E-mail: liukonen@soi.spb.ru

Поступило в Редакцию 26 июня 2001 г.

Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований динамических характеристик лазерных ракет (ЛР) на начальном участке траектории полета. Энергия к лазерному реактивному движителю (ЛРД) доставлялась по лучу СО- или СО<sub>2</sub>-лазеров в диапазоне 0.1–3.0 кДж в импульсе с частотой до 100 Нз.

В последние годы интерес к проблеме ускорения материальных тел в атмосфере и космосе с помощью лазеров постоянно возрастает, особенно после наших сообщений [1,2], где было показано, что перспективность создания лазерных ракет имеет под собой вполне реальную основу. Наиболее характерной в этом плане является конференция в 2000 г. в Санта Фе (США), где было сделано около десяти сообщений на эту тему, например, [3–6].

В данном сообщении приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований динамики лазерных ракет массой 0.1 ÷ 5.0 кг при изменении средней мощности в луче от 10 до 300 кВт.

На рис. 1 показаны макет лазерной ракеты без соплового насадка и два вида лазерных реактивных движителей (ЛРД), которые помещаются в сопловом насадке и служат для создания импульса реактивной отдачи при инициировании плазмы на их поверхности в результате оптического разряда в испаренном материале или в фокальных точках параболической матрицы. Плазма создавалась воздействием импульсного излучения СО- или СО<sub>2</sub>-лазеров на различные материалы и газы, начиная от атмосферного воздуха и кончая высокоэффективным "славитом" [8]. Пуски лазерных ракет осуществлялись вертикально вверх или под углом 30° к горизонту при принудительной стабилизации устойчивости полета.

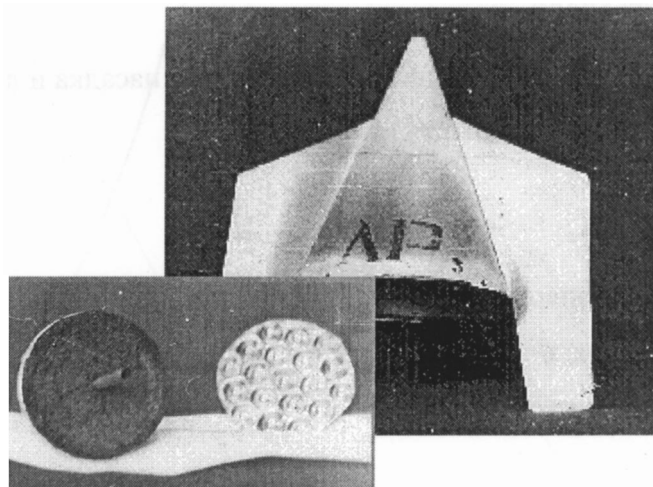


Рис. 1.

В данной работе, кроме того, разработана теоретическая модель для расчета полета лазерной ракеты на начальном участке траектории. Система уравнений выведена из законов сохранения массы, импульса и энергии, связывает параметры лазерного излучения с характеристиками плазмы с возможностью использования в расчетах полученных экспериментальных данных:

$$\Delta V = I(t)\tau S/M(t)[(1 + R)/c + v_n\eta(1 - R)] \text{ [m/s]}, \quad (1)$$

$$f_{\min} = Mg/C_m W \text{ [s}^{-1}\text{]}, \quad (2)$$

$$V_{\max} = tC_m fW/M \text{ [m/s]}. \quad (3)$$

Уравнение (1) определяет приращение скорости ЛР от одного лазерного импульса с энергией  $W = I\tau S$  ( $I$  — интенсивность излучения,  $\tau$  — длительность импульса,  $S$  — площадь аблятора). Первый множитель в уравнении определяет величину импульса светового давления, второй — импульс реактивной отдачи при скорости истечения плазмы  $v_n$  из сопла ЛР с энергетическим эквивалентом испаренной массы  $\eta$ . Для веществ, использованных в экспериментах, этот параметр определялся

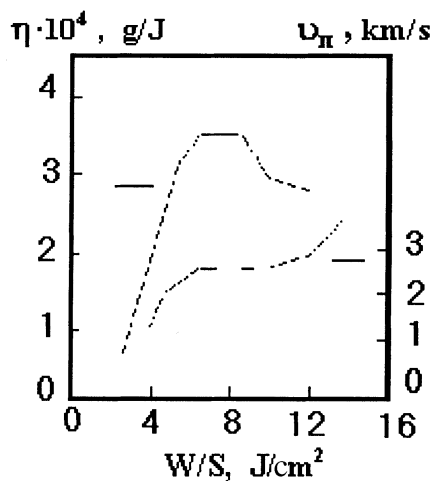


Рис. 2.

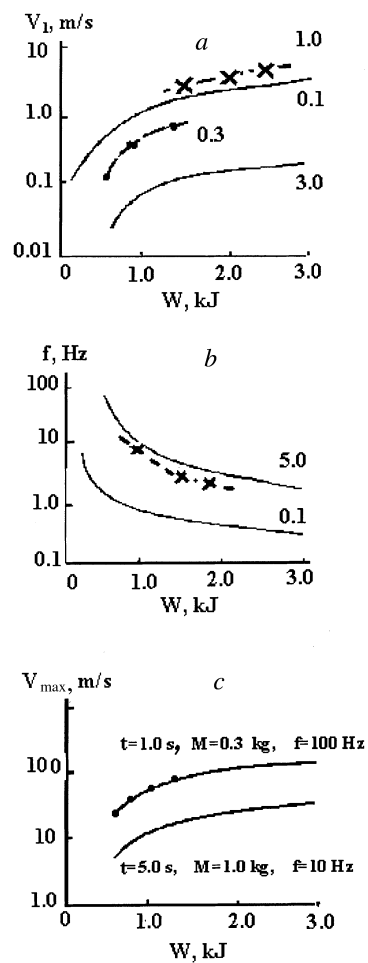
экспериментально при плотности энергии в лазерном луче в диапазоне 2–20 J/cm<sup>2</sup>.

На рис. 2 в качестве примера приведены экспериментальные данные по измерению параметра  $\eta$  и скорости истечения плазмы с поверхности ЛРД при использовании в качестве горючего (аблятора) — полиметилметакрилата (ПММ).

Второе уравнение позволяет определить минимальную частоту следования лазерных импульсов [7], необходимую для преодоления силы земного притяжения ЛРД массой  $M$  при заданной величине удельного импульса реактивной отдачи  $C_m$ , который рассчитывался либо определялся экспериментально [8].

Третье уравнение позволяет рассчитать максимальную скорость полета летательного аппарата, достигаемую за время  $t$ , при различной средней мощности лазерного излучения, но без учета влияния сопротивления атмосферы.

Результаты сравнения теоретических и экспериментальных данных приведены на рис. 3 для воздушной плазмы и "славита-3" (-- + -- + --). Цифры около графиков — масса ускоряемых объектов в килограммах.



**Рис. 3.** Зависимость динамических характеристик лазерных ракет от массы и мощности лазерного излучения при вертикальных пусках (сплошные линии — расчет, точки — эксперимент): *a* — скорость, приобретаемая ракетой от одного лазерного импульса; *b* — минимальная частота следования лазерных импульсов, создающих реактивную тягу, достаточную для преодоления ракетой силы земного тяготения; *c* — наибольшая скорость, достигаемая ракетой через одну и пять секунд при частоте следования импульсов 10 или 100 Hz.

Наибольшая величина силы реактивной тяги в однократных импульсах, достигнутая в эксперименте при использовании в качестве горючего "славита-3", составила  $4.8 \cdot 10^5 \text{ din} \cdot \text{s}$ , а зарегистрированное максимальное ускорение при вертикальных пусках достигало  $5.0 \cdot 10^3 \text{ ms}^{-2}$  ( $\approx 500 \text{ g}$ ).

Автор выражает глубокую признательность руководству Научно-производственного объединения "Астрофизика" и Государственного научно-исследовательского и испытательного лазерного центра "Радуга" за финансовую и техническую помощь при проведении экспериментов в частотно-периодическом режиме излучения  $\text{CO}_2$ -лазера.

## Список литературы

- [1] *Liukonen R.A., Babaev I.K., Belkin N.D.* et al. // 8-th Laser Optics Conference. St. Petersburg, Technical Digest, 1995. V. 1. P. 260.
- [2] *Liukonen R.A.* // Proceedings of SPIE XII International Symposium on Gas Flow and Chemical Lasers and High-Power Laser Conference. V. 3574. St.-Petersburg, 1998. P. 470.
- [3] *Uchida S., Imasaki K., Zhou X.* et al. // Proc. of SPIE Intern. Symposium High-Power Laser Ablation III. V. 4065. Santa Fe, USA, 2000. P. 495–501.
- [4] *Phipps C.R., Reilly J.P., Campbell J.W.* // Proc. of SPIE Intern. Symposium High-Power Laser Ablation III. V. 4065. Santa Fe, USA, 2000. P. 502–510.
- [5] *Berthe L., Sollier A., Peure P.* et al. // Proc. of SPIE Intern. Symposium High-Power Laser Ablation III. V. 4065. Santa Fe, USA, 2000. P. 511–520.
- [6] *McKenzie E., Forbes A., Turner G.R.* et al. // Proc. of SPIE Intern. Symposium High-Power Laser Ablation III. V. 4065. Santa Fe, USA, 2000. P. 860–865.
- [7] *Phipps C.R., Michaelis M.M.* // Laser and Particle Beams. 1994. V. 12. P. 23–54.
- [8] *Лиуконен Р.А., Трофименко А.М.* // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 7. С. 76–80.