

07.2

## Лазерный двигатель на основе абляционно-реактивного эффекта в пленках

© С.И. Державин, Я.В. Кравченко, Д.Н. Мамонов, В.Н. Тимошкин, М.Д. Чебан

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия  
E-mail: tosmb@yandex.ru

Поступило в Редакцию 26 сентября 2022 г.

В окончательной редакции 1 декабря 2022 г.

Принято к публикации 1 декабря 2022 г.

Предложены принцип функционирования и конструкция лазерного импульсного реактивного двигателя, работающего на твердом топливе. Получено экспериментальное подтверждение работоспособности предложенного принципа работы лазерного двигателя.

**Ключевые слова:** абляция, лазерный двигатель.

DOI: 10.21883/PJTF.2023.03.54462.19374

В наших экспериментальных исследованиях по лазерной очистке поверхностей тонких пленок был обнаружен лазерный абляционно-реактивный эффект [1], состоящий в возникновении импульса реактивной отдачи при абляции покрытия прозрачной пленки лазерными импульсами, который способен вызвать пространственное смещение пленки целиком или ее участка. Помимо других параметров сила отдачи зависит от материала покрытия пленки. Она может быть значительно увеличена, если в качестве материала покрытия использовать быстро испаряющиеся под воздействием нагрева лазерным излучением материалы, топливные смеси или даже бризантные вещества.

В настоящей работе предлагается использовать данный эффект в лазерном реактивном двигателе. Предлагаемый лазерный двигатель относится к классу абляционных лазерных двигателей [2], в которых лазер используется для создания высокотемпературного газа или плазмы путем испарения или воспламенения рабочего вещества (топлива) с последующим созданием реактивной тяги. Основной особенностью применения лазерного абляционно-реактивного эффекта в предлагаемом двигателе является использование не сплошного покрытия пленки рабочим веществом, а дискретного — в виде капсул, содержащих рабочее вещество, которые прикреплены к поверхности подвижной пленки. Каждая такая капсула по сути является топливным патроном.

Принципиальная схема предлагаемого двигателя изображена на рисунке (пропорции размеров элементов условные). Корпус двигателя 1 имеет осевой канал 2 для прохождения пучка лазерного излучения, который выходит из канала через фокусирующую линзу 3. Верхний выход из канала 2 закрыт прозрачным защитным диском 4. Твердое рабочее вещество 5 содержится в капсулах 6, которые жестким неразъемным образом прикреплены к плоской тонкой ленте 7. Капсулы расположены на продольной осевой линии ленты через

равные интервалы. Лента плотно прижата к верхнему торцу корпуса двигателя и может перемещаться вдоль его поверхности по направляющим 8.

В верхней части каждая капсула имеет конусообразное углубление 9, выполняющее роль мини-сопла, повышающего тягу. Нижняя часть капсулы, заполненная рабочим веществом, в сечении перехода ее полости в сопло закрыта тонкой защитной крышкой 10. Капсулы и лента изготавливаются из прочных термостойких материалов, способных без существенного разрушения выдержать сгорание порции топлива, заключенного в капсуле. Материал ленты должен быть прозрачен для используемого спектрального диапазона лазерного излучения. Лента выполняет функцию транспортера капсул. Также лента служит защитой верхнего торца двигателя от загрязнения продуктами сгорания рабочего вещества и дополнительной защитой выходного окна 4 от термических и механических повреждений.

Конструктивно капсулы могут быть как жестко прикрепляемыми к ленте, так и единым целым с ней, представляя собой фигурные выступы на ее верхней поверхности, и изготавливаться из одного с ней материала (например, из термостойкого пластика методом горячей штамповки). Лента с капсулами в свернутом виде может храниться в сменных кассетах, из которых она подается в двигатель в процессе его работы. В качестве рабочего вещества, заполняющего капсулу, могут использоваться испаряющиеся под воздействием высокой температуры твердые материалы, твердые ракетные топлива, взрывчатые вещества.

В предлагаемом лазерном двигателе целесообразно использовать импульсный диодный лазер [3] или твердотельный лазер с диодной накачкой [4], в том числе с волоконным выходом. Эти классы лазеров отличаются высоким КПД, компактностью, надежностью, длительным сроком эксплуатации. Излучение лазера может вводиться в канал 2 как напрямую, когда выходная апертура лазера располагается на оси канала 2 вблизи от

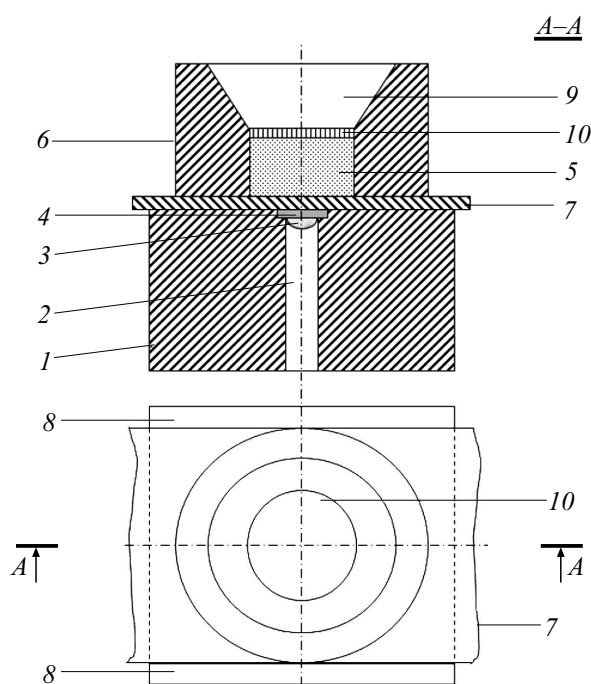


Схема предлагаемого лазерного двигателя. 1 — корпус двигателя, 2 — канал ввода лазерного излучения, 3 — фокусирующая линза, 4 — защитный диск, 5 — твердое рабочее вещество, 6 — капсула, 7 — лента, 8 — направляющие для ленты, 9 — сопло, 10 — крышка капсулы.

нижнего торца корпуса, так и по оптическому волокну (в этом варианте лазер может быть расположен в произвольном подходящем месте в космическом аппарате). Энергетические параметры лазера (энергия в импульсе, его длительность) зависят от вида используемого рабочего вещества в капсулах. Наименее энергозатратными являются варианты ракетного топлива и взрывчатого вещества, в этих случаях требуется энергия импульса, достаточная только для их поджига.

Работа двигателя происходит по следующему алгоритму.

1. Лентопротяжный механизм сдвигает ленту и позиционирует капсулу так, чтобы ее продольная ось совпала с оптической осью фокусирующей линзы 3. Лента фиксируется в этом положении.

2. Подается лазерный импульс, который после прохождения через прозрачную ленту 7 поглощается в объеме рабочего вещества 5. За счет поглощенной энергии лазерного импульса происходит испарение или термический поджиг рабочего вещества. Образовавшийся в капсуле высокотемпературный газ, находясь в ней под высоким давлением, прожигает (или срывает) верхнюю крышку капсулы 10, и струя газа выходит через сопло, сообщая капсуле реактивный импульс в направлении, противоположном истечению газа. Этот импульс плотно прижимает ленту к корпусу двигателя и через нее передается на корпус. В результате создается импульс реактивной тяги двигателя.

3. После завершения истечения газа цикл повторяется.

Время между шагами, частота повторения, длительность и количество циклов могут варьироваться и задаются автоматизированной системой управления работой двигателя. Энергия реактивного импульса может регулироваться изменением энергии и длительности лазерного импульса.

Работоспособность предложенного принципа работы двигателя была подтверждена в модельных экспериментах с пороховыми таблетками, приклеенными к лавсановой ленте. Для измерений использовалась та же методика, что и в работе [1]: отклонение грузика, висящего на конце ленты, реактивным импульсом. В экспериментах использовался импульсный YAG:Nd-лазер с  $\lambda = 1.064 \mu\text{m}$ , энергией в импульсе 10 мДж и его длительностью 20 нс, частотой повторения импульсов 10 Гц. Средняя масса пороховых таблеток составляла 0.12 и 0.24 г. Для поджига таблетки было достаточно не более двух импульсов. Использовались грузики с различными массами от 1 до 10 г и лента длиной 50 см. В зависимости от параметров были зарегистрированы значения отклонения ленты по горизонтали в интервале приблизительно от 7.5 до 34 см. Важно учитывать, что эффективность действия получавшихся реактивных импульсов была заметно снижена вследствие ненаправленного разлета пороховых газов, но, несмотря на это, измеренный КПД составил в среднем 7–9%. При использовании капсул со встроенным соплом (9 на рисунке) он должен быть существенно выше. Также эти эксперименты показали, что по сравнению с абляцией покрытия ленты из оксидов металлов, использовавшегося в [1], покрытие из бризантного вещества дало увеличение реактивной тяги до 50 раз.

Предложенный лазерный реактивный мини-двигатель может быть наиболее полезен в качестве двигателя для изменения ориентации, коррекции и стабилизации положения малых космических аппаратов при полете в космических условиях. Его достоинствами являются простота конструкции, гибкая регулировка режима работы, большой ресурс топливных запасов, компактно хранящихся в ленточных кассетах.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## Список литературы

- [1] Ya.V. Kravchenko, S.M. Klimentov, S.I. Derzhavin, D.N. Mamonov, N.V. Karpov, A.N. Mayorov, *Opt. Quant. Electron.*, **52** (6), 280 (2020). DOI: 10.1007/s11082-020-02399-1
- [2] C. Phipps, W. Bohn, T. Lippert, A. Sasoh, W. Schall, J. Sinko, in *Int. Symp. on high power laser ablation*, ed. by C.R. Phipps (American Institute of Physics, 2010), p. 710.

- [3] И.С. Тарасов, Квантовая электроника, **40** (8), 661 (2010).  
[I.S. Tarasov, Quantum Electron., **40** (8), 661 (2010).  
DOI: 10.1070/QE2010v040n08ABEH014375].
- [4] И.В. Глухих, С.А. Димаков, Р.Ф. Курунов, С.С. Поликарпов, С.В. Фролов, ЖТФ, **81** (8), 70 (2011). [I.V. Glukhikh, S.A. Dimakov, R.F. Kurunov, S.S. Polikarpov, S.V. Frolov, Tech. Phys., **56** (8), 1129 (2011). DOI: 10.1134/S1063784211080111].