

Полученные световые разряды можно использовать для создания каналов <sup>8,9</sup> пониженной плотности и плазменных каналов в газе с целью проведения пучков частиц

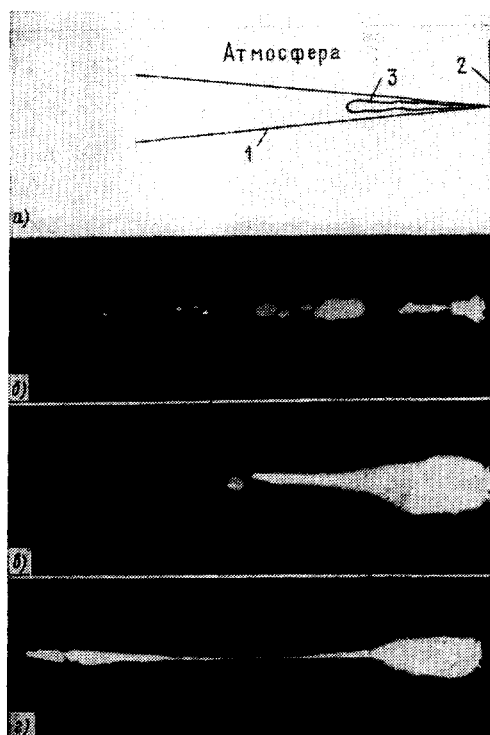


Рис. 2. Длинный непрерывный разряд в газе навстречу лучу.

а) Схема опыта (1 — луч лазера, 2 — мишень, 3 — разряд); б) четочный неоднородный разряд в обычном гигантском импульсе с  $T \approx 50$  нс; в, г) непрерывные длинные искры при длительностях  $T \approx 3$  и 10 мкс соответственно. Масштаб изображения тот же, что и на рис. 1.

излучения, быстролетающих частиц, для создания <sup>10</sup> плазменных антенн, отражателей и направляющих систем для радиоволн, для создания направленного пробоя, замыкания разряда, создания плазменных электродов и т. п.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Островская Г. В., Зайдель А. Н.— УФН, 1973, т. 111, с. 579.
2. Райзер Ю. П. Лазерная искра и распространение разрядов.— М., Наука, 1974.
3. Аскарьян Г. А., Манзон Б. М.— Письма ЖЭТФ, 1978, т. 27, с. 113.
4. Аскарьян Г. А., Манзон Б. М.— Письма ЖЭТФ, 1982, т. 8, с. 1125.
5. Аскарьян Г. А.— ЖЭТФ, 1962, т. 42, с. 1567.
6. Аскарьян Г. А.— УФН, 1973, т. 111, с. 249.
7. Черный Г. Г. Течение газа с большой сверхзвуковой скоростью.— М.: Физматгиз, 1959.
8. Аскарьян Г. А., Тарасова Н. М.— Письма ЖЭТФ, 1974, т. 20, с. 277.
9. Agraval G. P.— Optics and Laser Techn., 1981, v. 13, p. 141.
10. Аскарьян Г. А., Манзон Б. М., Раевский И. М.— Письма ЖЭТФ, 1978, т. 4, с. 1466.
11. Аскарьян Г. А., Манзон Б. М.— Письма ЖЭТФ, 1982, т. 8, с. 1256.

621.47(048)

Г. А. Аскарьян, И. А. Косый, В. А. Холодилов. Двигатели на лучевом факеле <sup>4</sup>. Развитие СВЧ энергетики и проблемы лучевой передачи энергии <sup>1</sup> делают желательными исследование новых способов преобразования лучевой энергии. Одним из возможных объектов преобразования может служить факел, возникающий на поверхности тел и в газе при воздействии излучения большой плотности потока. Недавно <sup>2</sup> была обнаружена и исследована высокая эффективность плазменно-факельного преобразования энергии СВЧ в энергию электрического тока (к. п. д.  $\geq 15-20\%$ ).

В данной работе<sup>4</sup> исследовано прямое преобразование лучевой энергии в механическую с помощью факела, создаваемого излучением, в моделях трех типов двигателей: турбинного, вибрационного и поршневого (рис. 1). В качестве источника излучения

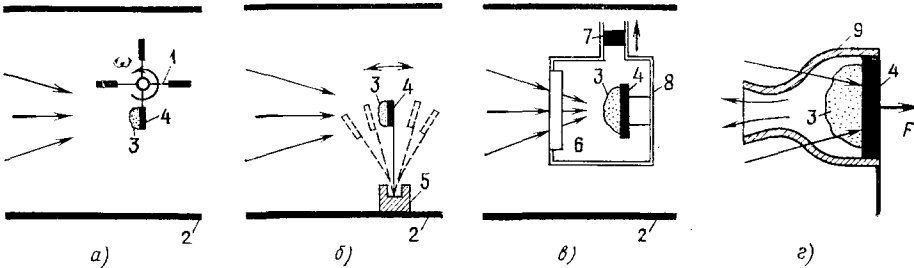


Рис. 1. Схематическое изображение турбинного (а), вибрационного (б), поршневого (в) двигателей и лопатки турбины с камерой-насадкой (г).

1 — крестовина, 2 — вакуумная камера, 3 — факел, 4 — лопатки, 5 — крепление вибрирующего стержня, 6 — радиопрозрачное окно, 7 — поршень, 8 — камера сгорания, 9 — камера-насадка.

использовался СВЧ генератор сантиметрового диапазона, дающий импульсы с энергией  $Q_1 \sim 10$  Дж и длительностью 60 мкс с регулируемой частотой посылок от 1 до 100 Гц. При исследовании светового факела использовался неодимовый лазер с энергией  $\sim 10$  Дж в импульсе.

1. Лучевая турбина. Была изготовлена простейшая турбина с длинами радиусов крестовины 10 см и моментом инерции  $I \approx 10^4$  см<sup>2</sup>. При фокусировке излучения в области, смещенной от оси турбины у краев крестовины, турбина начинала

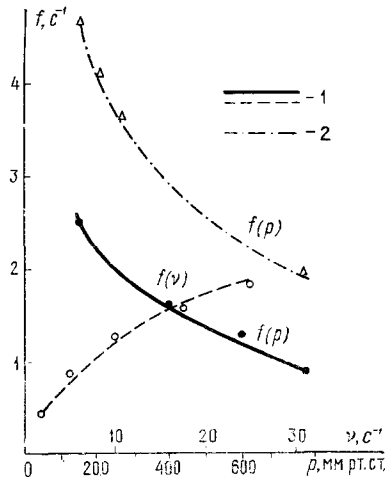


Рис. 2. Зависимость частоты вращения турбины  $f$  от частоты посылок СВЧ импульсов  $\nu$  и от давления в камере  $p$  (при  $\nu = 17$  Гц).

1 — турбина без камер-насадок; 2 — турбина с камерами-насадками.

быстро вращаться. Регистрация вращения с помощью прерывания света, кино- и стробометодов позволила исследовать разгон, установившееся вращение и затухание вращения при выключении факела в различных режимах при разных частотах посылок и при различных давлениях газа в металлической камере, в которой была установлена турбина. Частота  $f$  вращения уменьшалась при увеличении давления  $p$  газа от 0,2 до 1 атм и увеличивалась при увеличении частоты посылок импульсов (рис. 2). Используя выражение для силы  $F$  действия факела на поверхность  $F \sim \alpha P$ , где  $\alpha \sim 10$  дин/Вт и  $P$  — импульсная мощность излучения, получим из уравнения движения турбины  $I\dot{\Omega} = F\tau vL - (I/T)\Omega$ , где  $T$  — время затухания вращения ( $T \sim 1/p$  в пределах давлений  $p \sim 0,2-1$  атм), получим  $\Omega_{\text{устан}} = F\tau vLT/I$ . Так как механическая мощность  $\dot{A} = F_{\text{ср}}v = F_{\text{ср}}L\Omega = (F\tau v)^2 L^2 T/I \sim P^2$ , то к. п. д.  $= \dot{A}/P \sim P$ , т. е. должен возрастать с увеличением мощности.

Существенное увеличение частоты вращения и к. п. д. было достигнуто снабжением лопаток турбины камерами-насадками, которые обеспечивали направленное истечение газа факела и устраняли воздействие ударной волны от факела на пред-

душую лопатку, с такими насадками величина к. п. д.  $\sim 1\%$ . Синхронизация подачи импульсов в момент оптимального положения лопаток турбины, увеличение мощности, отражение потока газа из насадок или на лопатки, более рациональные конструкции турбины — все это позволит повысить эффективность факельной турбины, использующей характерные свойства факела — быстрый объемный нагрев и большие скорости истечения.

2. В и б р а ц и о н н ы й д в и г а т е л ь. Для демонстрации резонансного преобразования была использована упругая стальная пластина длиной 10 см, один конец которой был закреплен, а на другой фокусировался луч СВЧ. Резонансная частота колебаний  $f_{\text{ч}} \sim 12$  Гц, время затухания  $T \sim 2$  с. При приближении частоты посылок к резонансной частоте резко увеличивалась амплитуда колебаний  $x_0 \rightarrow F/\gamma\omega$ ,

и мощность работы  $\dot{A} = \dot{x}F \sim F^2/\gamma$ , где  $\gamma$  — коэффициент трения  $F \sim F_1\tau\omega/2\pi$ . Из этого видно, что к. п. д.  $\sim P$ . Следует отметить, что уход из резонанса был, по-видимому, связан с уходом частоты посылок, а также с нелинейным измерением резонансной частоты (амплитуды колебаний превышали 5—6 см).

Энергия колеблющейся пластины легко может быть обращена в энергию другого вида движения.

3. П о р ш н е в о й ф а к е л ь н ы й д в и г а т е л ь. Излучение СВЧ фокусировалось внутрь камеры объемом  $V_0 \approx 500$  см<sup>3</sup> и создавало факел на поверхности. Измерялся ход поршня с грузом 100 г. От одиночного импульса поршень вверх поднимался на 10 см, что соответствовало переходу в работу над поршнем  $A/Q_1 \sim mgh/Q_1 \sim 1\%$ . Работа, совершенная над газом, увеличивалась при уменьшении массы поршня, при увеличении энерговыделения. При посылке импульсов наблюдалось выстреливание поршня (радиационная пушка). Работа над поршнем совершается не только усредненным повышением давления при нагреве  $\Delta p \sim Q(\gamma - 1)/V_0$ , но и ударными волнами, многократно отраженными от стенок камеры.

Аналогичные опыты были проведены с лазерными факелами как в режиме турбины, так и в замкнутом объеме. Были зарегистрированы удельные импульсы тяги на турбине  $F\tau/Q \sim I\Delta\Omega/LQ \sim$  сотни дин·с/Дж.

Наблюдаемые факельные преобразования лучевой энергии в механическую могут оказаться выгоднее лазерных двигателей с нагревом газа молекулярным поглощением<sup>3</sup> из-за высокой эффективности СВЧ лучевого факела.

Это преобразование может быть использовано также для измерения лучевой мощности при больших плотностях потока.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ванке В. А., Лопухин В. А., Саввин В. Л. — УФН, 123, 633 (1977).
2. Аскаръян Г. А., Батанов Г. М., Бережецкая Н. К., Грицинин С. И., Коссий И. А., Раевский И. М. — Письма ЖЭТФ, 1979, т. 29, с. 706.
3. Гудзенко Л. И., Барчуков А. И., Кайтмазов С. Д., Шкловский Е. И. — Тр. ФИАН СССР, 1980, т. 120, с. 100.
4. Аскаръян Г. А., Коссий И. А., Холодильов В. А. — ЖТФ, 1983, т. 53, № 1, с. 177.