

МЕТОДИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ

536.423.1

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЧ ЛУЧА С ЖИДКОСТЬЮ:
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ, ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

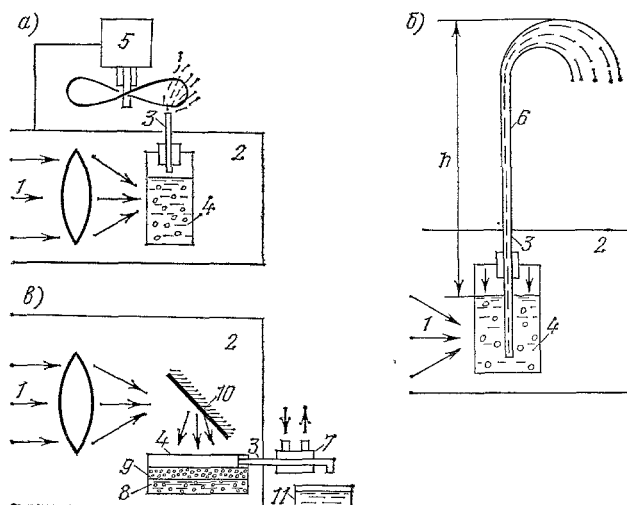
Г. А. Аскаръян, В. А. Холодилов

Развитие современной СВЧ энергетики связано не только с высокими к. п. д. генерации, но и с большими мощностями источников¹⁻². В последнее время, в частности, обсуждаются³ варианты СВЧ транспортировки энергии с космических энергетических станций.

Уже при плотностях потока $I \approx 10^2 - 10^3$ Вт/см² темп нагрева поверхности сред весьма велик: $\dot{T} \approx \alpha I / C \rho \delta \sim 10^2$ град/с для доли поглощения

Рис. 1. Схемы экспериментов.

а) Преобразование СВЧ энергии в механическую (СВЧ паровая турбина); б) самовыкачивание жидкости при кипении под действием СВЧ; в) прохождение жидкости через пористые среды (ректификация и разделение фракций нефти). 1 — луч СВЧ, 2 — металлическая бочка для экранировки, 3 — выводная трубка, 4 — стеклянный сосуд с жидкостью, 5 — турбина, 6 — струя фонтанирующей жидкости, выбрасываемой на высоту 1–2 м, 7 — охладитель выводной трубки, 8 — слой нефти в слое 9 кварцевого песка при исследовании прорыва при нагреве, 10 — зеркало для поворота луча для осуществления нагрева жидкости сверху, 11 — приемник легкой фракции нефти, испарившейся при нагреве (ректификация проводилась при нагреве сверху или сбоку).



$\alpha \approx 0,5$, теплоемкости слоя поглощения $C \rho \delta \approx$ Дж/см² и глубины поглощения $\delta \approx 0,5$ см; в жидкости должны быстро начаться процессы испарения и кипения, которые могут быть использованы для преобразования энергии СВЧ. Данная статья посвящена демонстрации прикладных возможностей такого воздействия луча СВЧ.

Эксперименты выполнены на установке (рис. 1) с генератором излучения сантиметрового диапазона, дающим в режиме периодических импульсов длительностью 50 мкс и энергией 10 Дж при частоте посылок до 100 Гц среднюю мощность $P \approx 1$ кВт при импульсной плотности 100 кВт/см². Такая установка использовалась ранее для плазменно-факельного преобразования энергии СВЧ в энергию тока (см. ⁴, где был получен к. п. д. преобразования 20%). СВЧ луч фокусировался линзой и в фокальное пятно помещался сосуд с жидкостью (при нагреве сбоку), или луч направлялся зеркалом на поверх-

ность жидкости в сосуде (при реализации нагрева сверху). Из сосуда выходила отводящая пар трубка вне «бочки», экранирующей СВЧ излучение.

Особенности кипения жидкости в таком луче проявлялись, в частности, в особом режиме нагрева и кипения при нагреве сверху (кипение с поверхности без пузырьков в объеме) и в создании перегревов при нагреве сбоку.

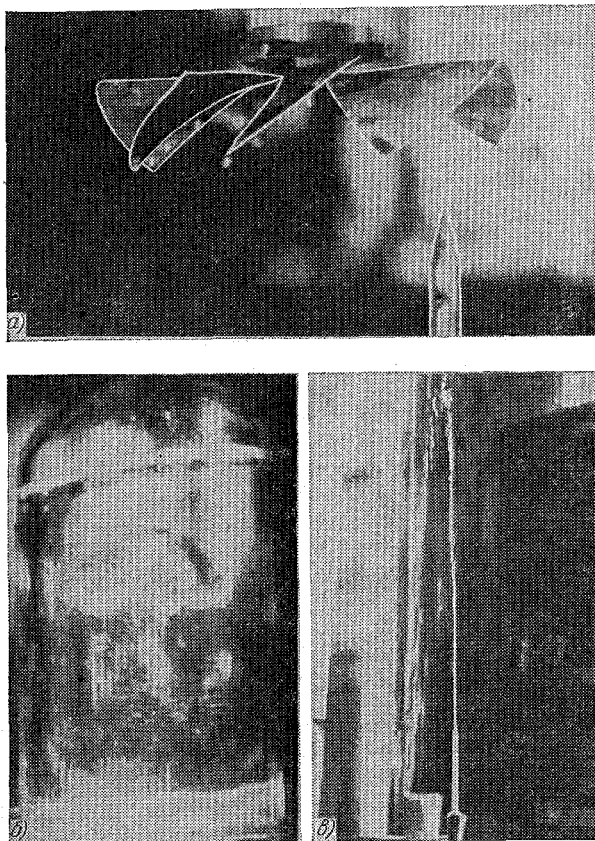


Рис. 2. Фотографии кипения жидкости в луче СВЧ и производимой работы.

а) Фото СВЧ паровой турбины; б) фото кипения воды с перегревами (виден бурно образующийся пузырь; взрывное вскипание улучшало преобразование энергии в механическую); в) фото фонтанирующей струи жидкости.

Быстрый вклад энергии приводил к перегреву — бурное выкипание образовывало большой пузырь в жидкости и взрывное выделение пара (рис. 2).

1. СВЧ ПАРОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Была испробована турбина, работающая от струи выходящего пара. Турбина с моментом инерции 10^4 г·см² и временем затухания вращения 2 с и длиной лопаток 8 см раскручивалась до частот вращения 10 с⁻¹. По мощности работы против сил трения $W_{\text{тр}} \approx J\Omega_{\text{уст}}^2/T_{\text{затух}}$ был оценен к. п. д. преобразования (к. п. д. = $W_{\text{тр}}/P$), составлявший 1% без учета возврата тепла при конденсации пара, что для столь несовершенной конструкции является немалым. Наиболее эффективными оказались бы двигатели поршневого типа, у которых пары давят на рабочую поверхность в замкнутом объеме (ср. двигатели на СВЧ факеле⁵).

2. САМОВЫКАЧИВАНИЕ ЖИДКОСТИ

Было испытано самовыкачивание жидкости под действием паров, давящих на поверхность. В нагреваемую жидкость была вставлена трубка (см. рис. 1, б), и при повышении температуры жидкости из трубки бил фонтан вверх на высоту $h \approx 1-2$ м (при расходе жидкости $\dot{M} \approx 20$ г/с и скорости

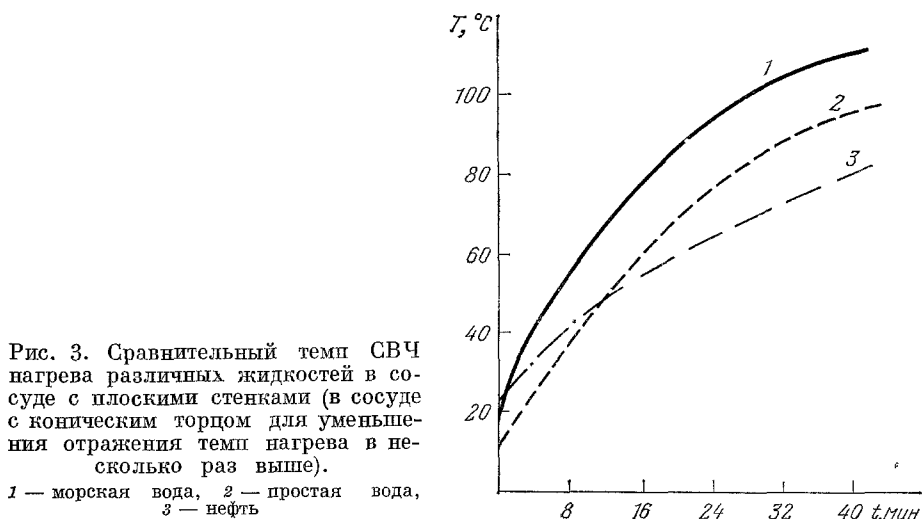


Рис. 3. Сравнительный темп СВЧ нагрева различных жидкостей в сосуде с плоскими стенками (в сосуде с коническим торцом для уменьшения отражения темп нагрева в несколько раз выше).

1 — морская вода, 2 — простая вода, 3 — нефть

выброса $v = \sqrt{2gh} \approx \sqrt{4 \cdot 10^5} \approx 10^3$ см/с это соответствует мощности $W = Mgh \approx Vm$). Эксперимент показывает возможность самовыкачивания жидкости (воды, нефти) при СВЧ нагреве.

Было наблюено ускорение диффузии и прорывы нефти и паров нефти через кварцевый песок при СВЧ нагреве.

Был измерен темп нагрева воды, морской воды и нефти с учетом возможных изменений отражения и поглощения с температурой в диапазоне 10—100° С (рис. 3).

3. РАЗДЕЛЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ СВЧ НАГРЕВЕ

Было исследовано воздействие СВЧ на смеси жидкостей (природные нефти) и растворы (морская вода). Измеренный темп нагрева при боковом падении показывает хорошие коэффициенты поглощения даже при падении луча на плоскую границу (при лучшем согласовании и уменьшении отражения при падении луча на сосуд с конической выемкой темп нагрева почти удваивался). При нагреве и кипении нефти (см. рис. 1, в) отделялась легкая фракция, что показывало возможность СВЧ разделения фракций нефти.

При кипении морской воды увеличивалась соленость в остающейся части, что показывает возможность СВЧ опреснения.

При больших температурах и давлениях возможна деструктивная переработка топлива как в газовой среде, так и в жидкости (в газах и парах может быть использован СВЧ разряд для распада тяжелых углеродов, создания высококачественных топлив).

Даже этот неполный перечень возможностей показывает большие перспективы практического использования СВЧ.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность И. А. Косому за поддержку и возможность написания данной статьи и В. Н. Алдохину за содействие в проведении экспериментов.

Институт общей физики АН СССР

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Microwave Power Engineering/Ed. E. Okress. — N.Y; Lnd.: Academic Press, 1968; перевод: СВЧ энергетика/Под ред. Э. Окресса. — М.: Мир, 1971.
2. Nalos E. J. — Proc. IEEE, 1978, v. 66, p. 276; перевод: ТИИЭР, 1978, т. 66, № 3, с. 5.
3. Ванке В. А., Лопухин В. А., Саввин В. Л. — УФН, 1977, т. 123, с. 633.
4. Аскарьян Г. А., Батанов Г. М., Бережецкая Н. К., Грицинин С. И., Коссий И. А., Раевский И. М. — Письма ЖЭТФ, 1979, т. 29, с. 706.
5. Аскарьян Г. А., Коссий И. А., Холодильов В. А. — ЖТФ, 1983, т. 53, с. 177.