

Письма в ЖЭТФ, том 18, вып. 11, стр. 665 – 667

5 декабря 1973 г.

**ДЕЙСТВИЕ МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА
НА ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ С ПЛЕНКОЙ ЖИДКОСТИ:
СЕЛЕКТИВНОЕ ИСПАРЕНИЕ, ВЫЖИГАНИЕ
И ВЫБРЫЗГИВАНИЕ СЛОЯ, ПОКРЫВАЮЩЕГО ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ**

Г. А. Аскарьян, Е. К. Карлова, Р. П. Петров, В. Б. Студенов

Экспериментально исследовано испарение, выжигание и выбрызгивание слоя жидкости (керосин, нефть, масло) с поверхности воды под действием мощного инфракрасного CO_2 -лазера в импульсном и непрерывном режиме. Наблюдано конвекционное вслушивание поверхности жидкости при приповерхностной циркуляции и ограничение растекания пленки по поверхности. Отмечены практические применения наблюденных эффектов – от очистки поверхности морей, рек и озер до разделения и очистки жидкостей в лабораторной практике.

В последнее время появились мощные источники инфракрасного излучения, например, газовые и газодинамические CO_2 -лазеры с длиной волны $\lambda \approx 10 \text{ мкм}$. Большая достигнутая мощность, высокий КПД и сильное

поглощение такого излучения позволяют осуществить сильный нагрев тонкого слоя поверхности. В данной работе исследованы новые эффекты, связанные с концентрированным нагревом гетерогенной поверхности — поверхности воды, покрытой тонким слоем другой жидкости (керосин, нефть, масло и т. д.).

Были использованы непрерывнодействующий ($\approx 50 \text{ вт}$) и импульсный ($\approx M\text{вт}, 1 \text{ дж}$ в микросекундном импульсе с частотой посылок $1 - 2 \text{ Гц}$) CO_2 -лазеры, лучи которых направлялись на поверхность воды, покрытой слоем другой жидкости. Нефокусированный луч имел диаметр $\approx 10 \text{ мм}$ фокусировка линзой с фокусным расстоянием $F = 30 \text{ см}$ уменьшала размер пятна луча до $r = 1 \text{ мм}$ ($r = F\phi$, где угол расходности $\phi \approx \lambda/a \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$). Использованные плотности потока были близки к плотностям потока от мощных газодинамических лазеров при площади пятна луча $\sim \text{м}^2$ (для нашего нефокусированного луча) и $\approx 10^2 \text{ см}^2$ (для нашего фокусированного).

Теоретические оценки показали, что сравнительно просто получить достаточно высокий нагрев поверхности. Действительно, температура $T \approx q_1/C_p\ell$, где $q_1 \approx I t$ — поверхностная плотность энергии от поглощаемого потока плотности I , C_p — теплоемкость 1 см^3 среды, $\ell = \sqrt{t_a + kt}$ — толщина прогретого слоя, t_a — глубина поглощения, k — коэффициент температуропроводности жидкости. Например, для воды ($t_a = 10 \text{ мкм}$ и $k = 10^{-3} \text{ см}^2/\text{сек}$) условие отсутствия ухода тепла из слоя поглощения $\ell_a > \sqrt{kt}$ выполняется для длительности энерговыделения $t < t_a \approx \ell_a^2/k = 10^{-3} \text{ сек}$.

Оценки показывают, что в интересующем нас диапазоне плотностей световых потоков можно достичь температур, достаточных для сильного испарения и возгорания поверхностных слоев. Были наблюдены экспериментально:

1. Селективное испарение и возгорание тонкого слоя жидкости на поверхности воды. В фокусированном луче наблюдалось сильное испарение, дымление и выгорание слоя керосина, нефти, масла на поверхности воды. Уменьшение массы слоя фиксировалось по уменьшению толщины слоя при наблюдении сбоку и по уменьшению веса кюветы с водой, покрытой слоем испаряемой жидкости (для устранения нагрева кюветы, как целого, она помещалась в большой чаше с водой, из которой кювета вынималась при взвешивании или измерении). В непрерывном режиме расход энергии на 1 г испаренной жидкости примерно на порядок превосходил энергию, необходимую на нагрев до кипения и испарения жидкости слоя, что связано с уходом тепла на нагрев воды.

В импульсном режиме на испарение шла большая часть энергии и расход энергии на массу испаренного вещества был в четыре — пять раз меньше, чем для непрерывного. Уменьшение необходимой энергии может быть связано также с процессом индуцированного сгорания.

Наблюдалось возгорание слоя на поверхности. Этот процесс облегчался добавлением различных частиц (корунд, песок и др.) или красителей в поверхностный слой.

2. Подbrasывание или выбрызгивание слоя жидкости на поверхности воды.

При воздействии импульсного (или сканируемого) мощного излучения лазера резкое испарение воды под слоем жидкости (такие жидкости, как керосин,

масло и т. д. имеют коэффициент поглощения меньше, чем у воды и пропускают к её поверхности излучение) может привести к подбрасыванию и выбрызгиванию слоя вверх. Возможен выброс и под действием испарения самого слоя. В режиме импульсного лазера, особенно при фокусировке было наблюдано сильное выбрызгивание нефти и керосина с поверхности воды, подбрасывание на высоту $20 \div 30$ см и оседание брызг на зеркале, линзе, экране. Расход энергии на единицу массы отделенной выбрызгнутой жидкости был гораздо меньше энергии, необходимой на испарение. Такое разделение жидкостей возможно и при неровной поверхности воды, причем большая высота выброса капель делает очень простым их сбор.

3. Конвекционный след луча на поверхности жидкости. Было наблюдано конвекционное всплытие и растекание нагретой лучом воды изнутри — вверх — по поверхности, приводящее к вспучиванию поверхности и отталкиванию поверхностного слоя. Вследствие этого линейный след луча на поверхности жидкости может ограничить растекание и вызвать пограничное испарение пленки по периметру ограничения. Было исследовано ограничение растекания пленки вытянутым следом луча. При когонном расходе непрерывно действующего луча $10 \div 20$ вт/см при ширине следа луча 1 см образовывалась четкая и устойчивая граница пленки нефти на поверхности воды.

Наблюденные эффекты могут быть использованы для лучевой очистки поверхностей жидкостей, например, для борьбы с загрязнениями водной поверхности морей, рек, озер нефтепродуктами. Большой интерес представляет не только выжигание пленки, но и испарение ее, поскольку теплота испарения в сотни раз меньше калорийной способности нефтепродуктов.

Лучевые очистки и разделение жидкостей применимы и в лабораторной практике. Импульсное локальное испарение или выжигание пленки (восстанавливающейся натеканием) может быть использовано для просветления, модуляции добротности, модуляции отражения и прохождения света и многих других целей.

Кроме лазерного инфракрасного излучения для воздействия на поверхность воды можно использовать мощное электромагнитное излучение сантиметровых, миллиметровых и субмиллиметровых диапазонов, поглощаемое в тонком приповерхностном слое воды.

Авторы выражают благодарность академику П.Л.Капице, который своим докладом на семинаре привлек внимание физиков к проблемам борьбы с глобальными загрязнениями среды, и профессору Н.В.Карлову предоставившему возможность проведения экспериментальной части работы.