

Член-корреспондент АН СССР С. С. КУТАТЕЛАДЗЕ, Д. Н. АВАЛИАНИ

ОСЛАБЛЕНИЕ ЛУЧА СВЕТА НА ТУРБУЛЕНТНЫХ ПУЛЬСАЦИЯХ

Ниже рассматриваются некоторые данные об ослаблении лазерного луча, проходящего вдоль приосевой области течения жидкости в замкнутом канале.

При ламинарном режиме движение жидкости не влияет на ослабление луча света и коэффициент Бугера остается тем же, что и в неподвижной среде. При возникновении турбулентности возникают сильные пульсации плотности светового потока, выходящего из жидкости. В режиме развитой турбулентности ($Re > 1,5 \cdot 10^4$) эти пульсации существенно уменьшаются

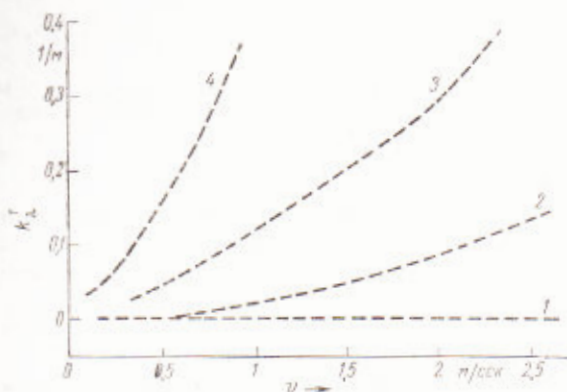


Рис. 1. Зависимость турбулентного коэффициента ослабления луча света при прохождении вдоль оси канала при различных значениях ν (в $10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$): 1 — 50; 2 — 1,5; 3 — 1; 4 — 0,45. Результаты для длин волн излучения 0,63 и 0,5 μ совпадают

по сравнению со средним уровнем светового потока, и можно говорить об устойчивых значениях коэффициента ослабления луча вследствие турбулентности. Механизм ослабления потока света турбулентностью естественно связать с пульсациями плотности жидкости, обусловленными пульсациями скорости (u', v', w').

В первом приближении можно принять, что рассматриваемый эффект пропорционален числу столкновений с элементами турбулентного потока масштаба

$$\lambda \sim \nu / \sqrt{\varepsilon}, \quad (1)$$

где ν — кинематическая вязкость жидкости, $\varepsilon = 1/2 u'^2 + 1/2 v'^2 + 1/2 w'^2$ — энергия турбулентного движения.

Внутри образований такого масштаба ослабление света происходит по закону Бугера, и можно написать, что в целом

$$-\ln(1 - I) = (k_\lambda + k_\lambda^t) l. \quad (2)$$

Здесь I — относительное изменение плотности светового потока, k_λ — коэффициент ослабления луча в неподвижной жидкости, k_λ^t — коэффициент турбулентного ослабления луча, l — длина хода луча.

Энергия турбулентного движения пропорциональна степени турбулентности потока жидкости k и характерной скорости осредненного течения v , т. е.

$$\varepsilon \sim kv^2. \quad (3)$$

В пристенной области течения жидкости

$$k \sim C_1, \quad (4)$$

где C_f — коэффициент трения. Отсюда

$$k_\lambda^* \sim 1/\lambda \sim v/\nu \quad (5)$$

и приближенно при заданных оптических характеристиках жидкости

$$\nu k_\lambda^*/v \approx \text{const.} \quad (6)$$

На рис. 1 приведены результаты опытов по ослаблению лазерного луча диаметром около 3,5 мм, проходившего вдоль оси трубы диаметром 50 мм. По трубе прогонялись различные жидкости в фиксированном изотермическом режиме. Как видно, влияние вязкости жидкости на ослабление луча света наблюдается совершенно отчетливо.

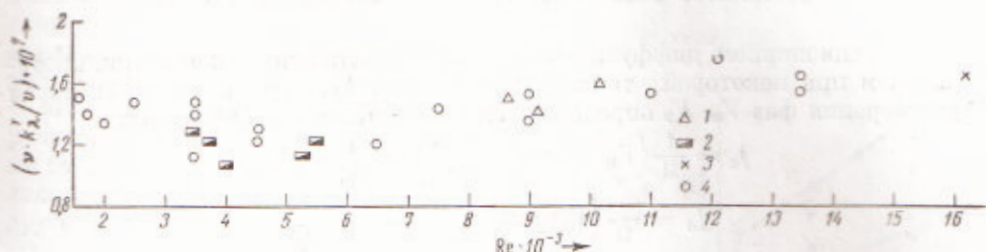


Рис. 2. Зависимость $\nu k_\lambda^*/v$ от $Re = vD/\nu$ (D — диаметр трубы). Опыты с дистиллированной водой при различных значениях ν (в 10^{-6} м²·сек⁻¹): 1 — 0,45; 2 — 0,7; 3 — 0,81; 4 — 1

На рис. 2 приведены данные по ослаблению луча света в воде для тех же условий. Вязкость воды менялась за счет ее подогрева во внешнем баке. В самой трубе с большой точностью выполнялось условие изотермичности. Данные рис. 2 подтверждают, что формула (6) действительно справедлива как первое разумное приближение в решении рассматриваемой проблемы. В общем случае критерий (6) зависит от оптических, термодинамических и гидродинамических условий, не учтенных в нем самом.

Институт теплофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
2 11 1971

Грузинский политехнический институт
им. В. И. Ленина
Тбилиси