

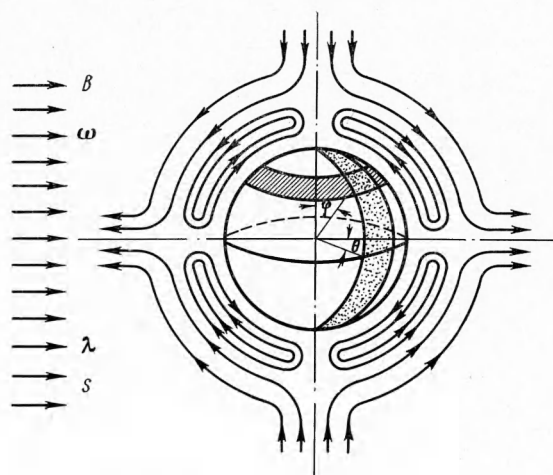
ИСПАРЕНИЕ КАПЛИ В ЗВУКОВОМ ПОЛЕ

А. М. Болдарев, А. П. Бурдуков, В. Е. Накоряков

(Новосибирск)

Известно, что в поле интенсивных акустических колебаний процессы переноса существенно ускоряются [1-5]. Подробный анализ работ по исследованию влияния звуковых колебаний на тепло- и массообмен дан в [6]. В [3] опубликовано решение о массоотдаче от тел простых форм в условиях свободной конвекции.

Расчет переноса в условиях свободной конвекции проводился на примере массоотдачи от сферы в звуковом поле. Рассматриваемая сфера помещена в среду, возмущенную звуковой волной с параметрами: B — амплитуда колебательной скорости, ω — круговая частота, S — амплитуда смещения, λ — длина звуковых колебаний (фиг. 1). Задача решалась при следующих предположениях:



Фиг. 1. Акустические течения около сферы, помещенной в пучность скорости стоячей звуковой волны: B — амплитуда колебательной скорости, ω — круговая частота, λ — длина волны звуковых колебаний, S — амплитуда смещения

Испарение капли было смоделировано испарением жидкости с поверхности пористого шарика. Схема эксперимента представлена на фиг. 2, где 1 — отражатель, 2 — пористая сфера, 3 — излучатель звука, 4 — электромагнит.

В качестве источника звуковых колебаний был использован излучатель электродинамического типа, позволяющий получать звук достаточно высокой интенсивности до 165 дб. В отличие от излучателей большой мощности, которые работают на воздух и, как правило, генерируют звук с большой неравномерностью, данный излучатель позволяет получать звуковые колебания с равномерной амплитудой по фронту волны. Подробное описание излучателя подобного типа дано в [3].

Массоотдача от сферы была исследована в неподвижном звуковом поле. Интенсивность звуковых колебаний измерялась пьезоэлектрическим датчиком давления с цилиндрическим чувствительным элементом, внешний диаметр которого был порядка 1.5 мм. Частота звуковых колебаний измерялась с помощью частотомера. Расход жидкости, испаряющейся с поверхности сферы, измерялся объемным методом. В качестве рабочей жидкости был использован этиловый спирт.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем: устанавливалась стоячая звуковая волна, в пучность скорости которой вводилась сфера, затем через сферу продавливалась рабочая жидкость, регулированием давления в системе подачи рабочей жидкости устанавливался определенный режим испарения, после выхода на режим давление в тракте и интенсивность звуковых колебаний поддерживались постоянными в течение проведения опыта.

При проведении одной серии опытов измерялись следующие величины:

1) расход жидкости, испаряющейся со сферы; 2) температура поверхности сферы (нихром-константановой термопарой, приваренной контактной сваркой к поверхности сферы); 3) температура окружающей среды; 4) давление в звуковой волне; 5) частота звуковых колебаний.

В данном экспериментальном исследовании определялась зависимость безразмерного коэффициента массообмена, осредненного по сфере от амплитуды колебатель-

а) длина волны звуковых колебаний много больше радиуса сферы, $\lambda \gg R$;

б) отношение амплитуды смещения к радиусу сферы либо много больше единицы $S/R \gg 1$, либо много меньше единицы $S/R \ll 1$;

в) число Грасгофа стремится к нулю $G \rightarrow 0$.

В такой постановке задачи было найдено выражение для безразмерного локального коэффициента массообмена (число Нуссельта), которое имеет следующий вид (D — коэффициент диффузии):

$$N = 1.89 \frac{B}{\sqrt{\omega D}} \frac{\cos^2 \varphi}{\sqrt{1 + \cos^2 \varphi}} \quad (1)$$

Для проверки закономерностей переноса от сферы в звуковом поле в газообразной среде были поставлены эксперименты по массоотдаче в системе этиловый спирт — воздух.

ной скорости и частоты звуковых колебаний. Интенсивность звуковых колебаний в опытах менялась от 150 до 165 дб, частота звуковых колебаний — от 7 до 18 кгц.

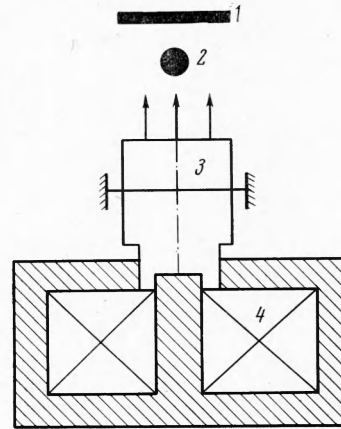
Обработка экспериментальных данных велась по формуле (1). Для определения среднего коэффициента массообмена N необходимо указанную выше теоретическую зависимость (1) усреднить по сфере по формуле:

$$\langle N \rangle = \frac{1}{F} \int_F N^0 dF$$

где F — площадь поверхности сферы, N^0 — локальное число Нуссельта.

В работе [3] интеграл при усреднении брался численно при этом была допущена ошибка. Можно точно взять интеграл

$$\begin{aligned} \langle N \rangle &= \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} N^0 R^2 \cos \varphi \, d\theta \, d\varphi = \\ &= 1.9 \frac{B}{\sqrt{\omega D}} \int_0^{\pi/2} \frac{\sin \varphi \cos^2 \varphi}{\sqrt{1 - \cos^4 \varphi}} \, d\varphi = \\ &= 0.95 \frac{B}{\sqrt{\omega D}} (\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}) \Big|_0^{\pi/2} = 1.9 \frac{B}{\sqrt{\omega D}} \end{aligned} \quad (2)$$



Фиг. 2

Безразмерный коэффициент массоотдачи определялся по известной формуле

$$N = \beta d / D \quad (3)$$

где β — коэффициент массообмена, связанный с потоком массы следующей зависимостью:

$$q = \frac{3M}{R_0 T} (P_\omega - P_\infty)$$

Зная давление насыщенных паров P_ω на поверхности сферы и P_∞ — давление насыщенных паров на бесконечности, коэффициент диффузии этилового спирта при температуре T , а также молекулярный вес паров спирта M , однозначно определяем левую часть выражения (3).

Результаты экспериментального исследования представлены на фиг. 3, где $B^* = B(\omega D)^{-1/2}$. Как видно из графика, экспериментальные данные удовлетворительно согласуются с теоретической зависимостью (2).

Фиг. 3. Зависимость коэффициента массообмена от параметров акустического поля: — теоретическая кривая, O — экспериментальные точки

Необходимо отметить, что указанная выше теоретическая зависимость (2) отличается от теоретической зависимости, выведенной в работе [4], только коэффициентом.

Поступила 3 II 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. Пенней В. Р., Джефферсон Т. Б. Теплоотдача от колеблющейся горизонтальной проволоки к воде и этиленгликолю. Теплопередача, № 4, Тр. ASME, Сер. С, М., «Мир», 1966, стр. 21.
2. Ричардсон П. Д. Корреляция экспериментальных данных, полученных Фандом и Кеом, влияние акустических колебаний на теплоотдачу. Теплопередача, № 2, Тр. ASME, Сер. С, М., «Мир», 1965, стр. 183.
3. Бурдуков А. П., Накоряков В. Е. О переносе массы в звуковом поле. ПМТФ, 1965, № 2.
4. Борисов Ю. Я., Статников Ю. Г. Влияние звука на процессы теплообмена, протекающие в газовых средах. Инж.- физ. ж., 1967, т. 13, № 3.
5. Фанд Р. М., Кей. Воздействие акустических колебаний на свободную конвекцию около горизонтального цилиндра. Теплопередача, № 2, Тр. ASME, Сер. С, М., «Мир», 1961, стр. 36.