

ЛИТЕРАТУРА

1. Nusselt W. Die Oberflächen kondensation des Wasserdampfes, Z. VDI, 1916, Bd 60, H. 27.
2. Кутателадзе С. С. Теплопередача при изменении агрегатного состояния вещества. М., Машгиз, 1939.
3. Кутателадзе С. С. Теплопередача при конденсации и кипении. М.— Л., Машгиз, 1952.
4. Фукс С. Н. Конденсация движущегося пара на горизонтальной трубе. Изв. Всес. теплотехн. ин-та, 1953, № 3.
5. Sugawara S., Michigoshi J., Minamiyana T. The condensation of vapour flowing normal to a horizontal pipe. Proc. 6-th Japan Nat. Congr. for Appl. Mech. Tokyo, 1956; Tokyo, Ueno Park, 1957.
6. Берман Л. Д., Гуманов Ю. А. О влиянии скорости пара на механизм и интенсивность теплообмена при пленочной конденсации на горизонтальной трубе. Энергомашиностроение, 1964, № 5.
7. Фукс С. Н. Теплоотдача при конденсации движущегося пара в горизонтальном трубном пучке. Теплоэнергетика, 1957, № 1, стр. 35—38.
8. Берман Л. Д., Гуманов Ю. А. Исследование теплоотдачи при конденсации движущегося пара на горизонтальной трубе. Теплоэнергетика, 1962, № 10, стр. 77—83.
9. Shekriladze I. G., Gornelauri V. I. Theoretical study of laminar film condensation of flowing vapour. Internat. J. Heat and Mass Trans. 1966, vol. 9, No. 6.
10. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя М., Изд-во иностр. лит., 1956.
11. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена М.— Л., Машгиз, 1962.
12. Кутателадзе С. С., Леонтьев А. И. Турбулентный пограничный слой сжимаемого газа. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1962.
13. Петухов Б. С. Опытное изучение процессов теплопередачи. М.— Л., Госэнергоиздат, 1952.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ
НА МАССООТДАЧУ ОТ СФЕРЫ ПРИ БОЛЬШИХ ЧИСЛАХ ПРАНДТЛЯ**

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

(Новосибирск)

Представлены некоторые результаты экспериментального исследования ультразвуковых колебаний на массоотдачу от сферы при больших значениях числа Прандтля. Для измерения коэффициента массоотдачи применен электрохимический метод.

Результаты экспериментального исследования сопоставлены с теоретической зависимостью, полученной ранее в [1].

Процессы переноса между твердым телом и жидкой или газообразной средой существенно ускоряются при относительном колебательном движении тела и среды.

Вопросу тепломассообмена от тел простых форм в поле акустических колебаний посвящен ряд экспериментальных работ отечественных и зарубежных авторов [1—4]. Подробный обзор исследований, выполненных до 1960 г., дан в работе [4].

Соображения о механизме воздействия звуковых колебаний на процессы переноса, высказанные разными авторами, довольно противоречивы.

В работе [1] была выведена теоретическая зависимость коэффициента массопереноса от параметров звукового поля. При решении этой задачи были приняты следующие предположения:

- 1) длины волны звуковых колебаний λ много больше радиуса сферы $\lambda \gg R$;
- 2) отношение амплитуды смещения s к радиусу сферы R либо много меньше единицы $s/R \ll 1$, либо много больше единицы $s/R \gg 1$;
- 3) число Грасгофа стремится к нулю $G \rightarrow 0$.

При принятых ограничениях для массоотдачи от сферы в [1] для осредненного коэффициента массопереноса (числа Нуссельта N , построенного по диаметру сферы d)

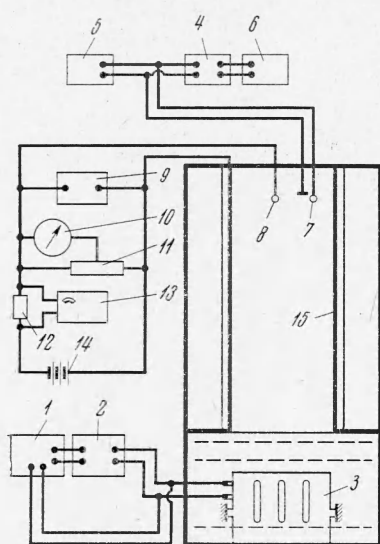
получена формула

$$N = 0.832 \left(\frac{B^2 R}{V \omega \nu D} \right)^{1/3} \quad \left(\frac{s}{R} \ll 1 \right) \quad (4)$$

Здесь B — амплитуда колебательной скорости, ω — циклическая частота, ν — коэффициент кинематической вязкости, D — коэффициент диффузии.

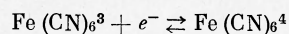
Задачей данного исследования явилась экспериментальная проверка теоретической зависимости, описывающей процессы тепломассопереноса при колебательном движении.

Исследование влияния ультразвуковых колебаний на массообмен от сферы при больших числах Прандтля было проведено на установке, схема которой представлена на фиг. 1. На этой схеме 1 — высоковольтный выпрямитель, 2 — генератор ультразвука, 3 — источник звука, 4 — широкополосный усилитель УШ-2, 5 — ламповый вольтметр, 6 — осциллограф СИ-7, 7 — пьезоэлектрический датчик, 8 — никелевая сфера (катод), 9 — ламповый вольтметр ВЛУ-2, 10 — миллиамперметр М1104, 11 — переменное сопротивление, 12 — образцовое сопротивление, 13 — потенциометр Р2/1, 14 — источник постоянного напряжения, 15 — анод.



Фиг. 1

Для измерения безразмерного коэффициента массопереноса был применен электрохимический метод. В основе электрохимического метода, описанного в ряде работ, лежит контролируемая диффузией электрохимическая реакция [5]



Окислительно-восстановительная система $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6 / \text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ удобна тем, что электрохимическая реакция протекает в диффузионной области в широком диапазоне параметров, на электродах не возникает никаких отложений и, наконец, ни один из компонентов системы не расходуется, следовательно состав ее может оставаться постоянным в течение длительного времени.

При наличии электрического потенциала между анодом и катодом площадь анода выбирается во много раз больше площади катода во избежание поляризации анода, на их поверхности идет электрохимическая реакция по указанной выше схеме.

Сфера, покрытая слоем никеля, на поверхности которой исследовался массообмен, являлась катодом. Ток в цепи катода пропорционален количеству прореагировавших на нем в единицу времени ионов, которое в свою очередь определяется скоростью подвода реагирующих ионов к поверхности сферы и отвода от нее продуктов реакции за счет конвективной и молекулярной диффузии.

Таким образом, ток в цепи катода является количественной мерой интенсивности процесса массообмена на поверхности исследуемого тела.

В режиме предельного диффузионного тока скорость реакции на катоде определяется интенсивностью массообмена между поверхностью катода и потоком электролита, при этом поток массы q связан с величиной предельного тока I соотношением

$$q = IM / F$$

Здесь M — молекулярный вес, F — число Фарадея. Для коэффициента массопереноса имеем таким образом

$$\beta = \frac{I}{FS(c_\infty - c)}$$

Здесь S — площадь катода (сферы), c — концентрация электролита. Концентрация ионов на катоде в режиме предельного диффузионного тока в результате поляризации равняется нулю, поэтому для безразмерного коэффициента массообмена имеем

$$N = \frac{Id}{FS c_\infty D}$$

Следовательно, задача определения безразмерного коэффициента массопереноса от сферы свелась к измерению предельной величины тока в цепи катода при определенном режиме обтекания.

В качестве электролита использовался раствор солей ферриферроцианида $K_3Fe(CN)_6$ и $K_4Fe(CN)_6$ 0.001—0.01 N концентрации. Для исключения влияния миграции ионов на величину электрического тока в электролит вводились посторонние ионы добавлением едкого натра до 0.5—2 N концентрации. Изменяя концентрацию едкого натра, можно получить жидкости с различными значениями диффузионных чисел Прандтля; в данном исследовании число Прандтля равнялась $P = 2200$.

Ввиду возможности окисления на воздухе и разложения соли $K_3Fe(CN)_6$ каждый раз приготавливался новый раствор электролита и его концентрация измерялась до и после опыта. Посредством термостатирования рабочего объема жидкости во время опытов температура электролита поддерживалась постоянной и равной $t = 25^\circ C$.

Методика эксперимента заключалась в следующем. Излучатель звука устанавливался в сосуд с жидкостью на определенном расстоянии от излучателя, на специальной подстановке параллельно плоскости излучателя устанавливалась колба с электролитом, в которую с помощью координатных устройств вводилась исследуемая сфера (катод) и пьезоэлектрический датчик для измерения интенсивности ультразвуковых колебаний.

Ток в цепи катода измерялся миллиамперметром М1104 класса 0.2. Напряжение между катодом и анодом измерялось при помощи лампового вольтметра с большим внутренним сопротивлением.

Частота ультразвуковых колебаний измерялась и контролировалась на двухлучевом электронном осциллографе СИ-7.

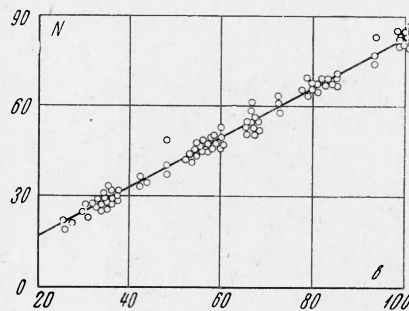
В качестве источников ультразвуковых колебаний использовались магнитострикционные и кварцевые излучатели, позволяющие получать звук достаточно высокой интенсивности от 5 до 30 $вт/см^2$ соответственно.

Основные параметры опыта менялись в следующих пределах: частота ультразвуковых колебаний от 20 $кГц$ до 1 $мГц$, диаметр сферы от 1.5 до 6 $мм$, число Прандтля от 2000 до 2300.

Результаты экспериментального исследования массообмена от сферы представлены на фиг. 2, где $b = B^{2/3} R^{1/3} (\omega\nu)^{1/6} D^{1/3}$; теоретическая] зависимость (1) удовлетворительно обобщает экспериментальные результаты.

Из результатов данной работы следует что ранее предсказанный [1] механизм массообмена при больших значениях числа Прандтля и малом значении отношения амплитуды смещения среды к радиусу сферы определяется закономерностями внутренней области вторичных течений.

Полученные данные могут быть использованы для оценки влияния колебаний на процессы переноса в жидких средах.



Фиг. 2

Поступила 4 I 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурдуков А. П., Накоряков В. Е. Влияние колебаний на массоотдачу от сферы при больших числах Прандтля. ПМТФ, 1967, № 3.
2. Графов Б. М. К расчету диффузионного потока на вибрирующий электрод. Электрохимия, 1967, т. 3, вып. 8.
3. Deaverg F. K., Penney W. R., Jefferson T. B. Heat transfer from an oscillating horizontal wire to water. Trans. ASME, Ser. C, J. Heat Trans., 1962, vol. 84, No. 3. (Рус. перев.: Теплоотдача от колеблющейся горизонтальной проволоки к воде. Теплопередача, 1962, Сер. С, № 3).
4. Fand R. M., Kays J. The influence of sound on free convection from a horizontal cylinder. Trans. ASME, Ser. C, J. Heat Trans., 1961, vol. 83, No. 2. (Рус. перев.: Воздействие акустических колебаний на свободную конвекцию около горизонтального цилиндра. Теплопередача, 1961, т. 83, Сер. С, № 2).
5. Смольский Б. М., Попов В. И., Покрывайло Н. А. Экспериментальное исследование нестационарного массообмена плоской пластины, обтекаемой несжимаемой жидкостью под различными углами атаки. В сб.: «Тепло- и массоперенос», М., «Энергия», 1968, т. 1.