

Так как хлороформ, сероуглерод, четыреххлористый углерод, толуол, тиофен, хлористый и бромистый метилен, бензол, бромбензол, фторбензол и хлорбензол являются неассоциированными жидкостями и их молекулы не имеют поворотных изомеров, согласно работам [4, 7—10] можно предполагать, что акустическая дисперсия в использованном диапазоне частот может быть обусловлена колебательной релаксацией.

Расчеты, основанные на данных эксперимента показывают правильность ранее полученных значений [4, 7—10]. Таким образом, в настоящее время возможны измерения коэффициента затухания звука в жидких системах импульсным методом в диапазоне частот от 0,5 до 2000 Мгц, с точностью ~5—7%.

Авторы выражают глубокую благодарность М. И. Шахпаронову за содействие и поддержку при проведении данной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. К. Хабибуллаев, М. Г. Халиулин. Высокочастотная импульсная установка для исследования акустических свойств жидкостей на частотах 300—950 Мгц. Ультразвук, техн. 1967, 3, 47—50.
2. А. С. Лагунов, Б. А. Белинский. Импульсная установка для измерения поглощения ультразвука в жидкостях на сверхвысоких частотах. Ультразвук, техн.; 1966, 2, 60—63.
3. А. А. Бердыев, Н. Б. Лежнев. Метод исследования акустических свойств жидкостей на частотах 300—1000 Мгц. Акуст. ж., 1966, 2, 12, 247—250.
4. С. С. Алиев, П. К. Хабибуллаев, М. Г. Халиулин. Акустическая релаксация в жидком бромистом, хлористом метиле, хлороформе и тиофене. VI Всесоюзная акустическая конференция. М. ДУ4, 1968.
5. K. G. Plass, Relaxationen in organischen Flüssigkeiten bei 16ghz. Acustica, 1967/68, 19, 236—242.
6. А. А. Бедрыев, В. В. Лапкин, Н. Б. Лежнев. Поглощение ультразвуковых волн в индивидуальных жидкостях в диапазоне частот 500—1500 Мгц. Изв. АН Туркм.ССР, сер. фтх и гн, 1968, 2 III—113.
7. И. Л. Фабелинский. Молекулярное рассеяние света. М., «Наука», 1965.
8. Ю. Г. Шорошев, Л. В. Ланшина, М. И. Шахпаронов. Изучение гипер-акустических свойств жидкостей с помощью гелий-неонового лазера, Докл. АН СССР, 1967, 173, 1, 70—72.
9. Т. Н. Мусаев, Л. В. Ланшина, П. К. Хабибуллаев, С. Г. Дудникова, А. К. Столяров. Исследование акустических свойств некоторых органических жидкостей. VI Всесоюз. акустическая конференция, М. ДУ 2, 1968.
10. И. Г. Михайлов, В. А. Соловьев, Ю. П. Сырников. Основы молекулярной акустики. М., «Наука», 1964.

Московский государственный
университет

Поступило в редакцию
16 июня 1968 г.

УДК 534.29

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ КОЛЕБАНИЙ ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВОГО ПОТОКА НА ТЕПЛООБМЕН В СЛОЕ

В. Т. Плицын, Б. С. Филков

Многочисленными исследованиями [1—9 и др.] показано существенное влияние на междуфазный тепло- и массообмен колебаний одного или нескольких из их параметров. Однако в большинстве случаев объектами исследований являлись одиночные частицы, либо тонкие слои мелкодисперсных материалов. Значительное распространение в технике процессов, связанных с тепло- и массопереносом в относительно высоких слоях кусковых материалов, например, в шахтных печах и сушилах, предопределяет интерес к возможности их интенсификации указанным способом. Интерес этот тем более значителен, что колебания тех или иных параметров могут быть возбуждены естественным путем, в ходе самого процесса, при соответствующей его организации [10, 11], чем обуславливается снижение энергозатрат на его интенсификацию.

С целью выяснения влияния колебаний давления газовой фазы на теплообменные процессы в слое и было предпринято настоящее исследование, в ходе которого

термистор Т8Д помещался в продуваемый воздухом слой кусков кокса. Высота слоя составляла 1,5 м, куски кокса были представлены фракцией 6—13 мм, близкой к размерам термистора. Для уменьшения инерционности последний стеклянный баллончик был с него снят. Термистор включался в одно из плеч измерительного моста. Скорость воздуха, отнесенная к полному сечению вмещающей слой трубы с внутренним диаметром 120 мм, регулировалась в пределах от 0,2 до 1,6 м/сек. Колебания давления воздушного потока в диапазоне 40—1000 гц возбуждались с помощью электродинамического преобразователя, состоящего из звукового генератора ГЗ-1, усилителя ГУ-50 и электродинамического вибратора Р-100 с номинальной мощностью 50 в. Исследование проводилось при значениях звукового давления в месте измерения 333 и 500 н/м².

Коэффициент теплообмена слоя с газовым потоком определялся из соотношения $IE = \alpha F(t_{сл} - t_r)$, где I и E — соответственно сила тока и напряжение на термисторе, α — коэффициент теплообмена, F — величина эффективной поверхности, постоянная в процессе экспериментов, $t_{сл}$ и t_r — температура слоя и газа, соответственно.

При проведении экспериментов измерениям предшествовала стабилизация тока через термистор при заданных расходе воздуха и частоте колебаний его давления.

Результаты экспериментов, с целью уменьшения влияния на них побочных факторов, представлены на фигуре в относительных величинах, характеризуемых выраженным в процентах изменении коэффициента теплообмена α_v^v при наложении на газовый поток колебаний по сравнению с коэффициентом теплообмена при невозмущенном газовом потоке α_v^c в зависимости от частоты колебаний потока f , гц.

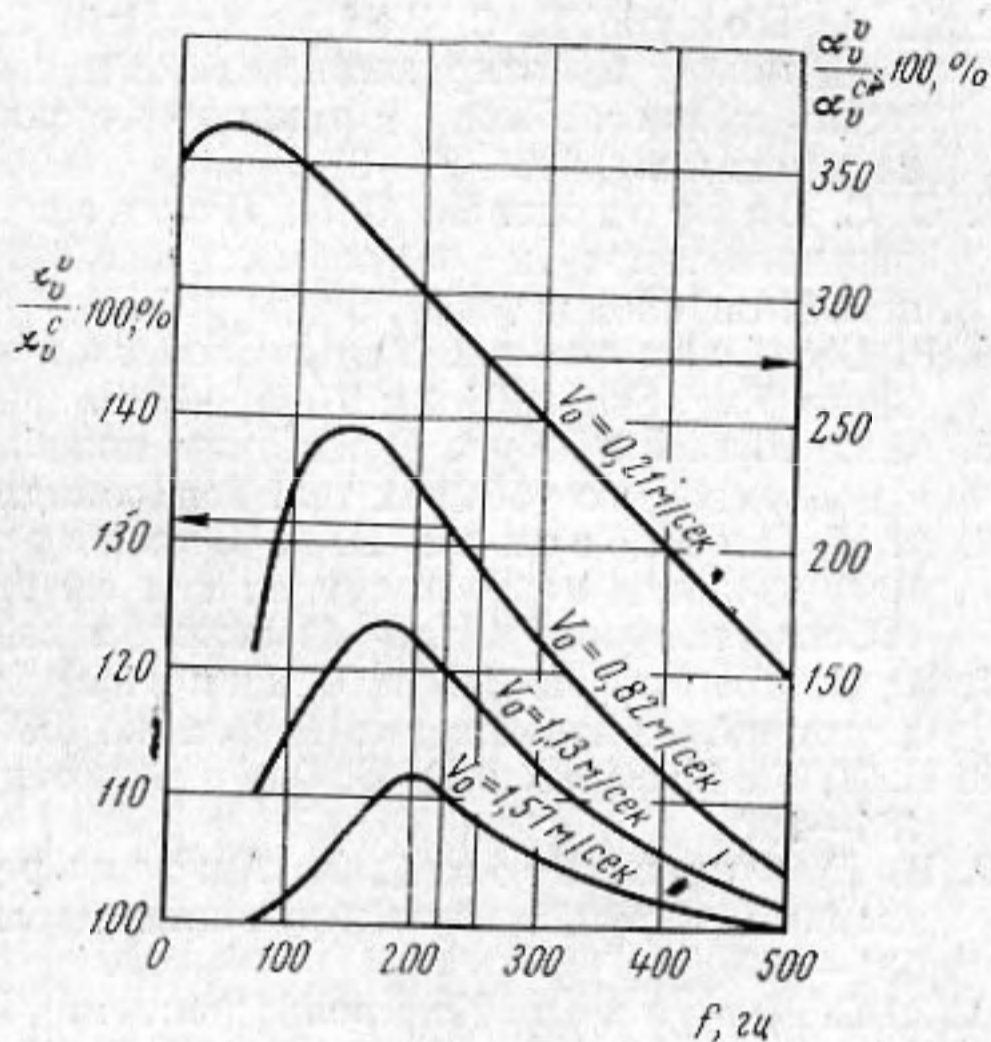
При анализе результатов экспериментов обращает внимание экстремальный характер этой зависимости. Можно предположить, что последний обусловлен резонансными явлениями при соответствии частоты возмущающих колебаний собственной частоте межкусковых каналов и пор кусков, когда, благодаря возникновению в этих условиях «акустического ветра», интенсифицируются обменные процессы в ранее застойных областях. Характерно, что авторы работы [12] установили подобный же характер зависимости между наиболее эффективной частотой пульсаций газового потока при восстановлении окислов железа и размером пор исследуемых образцов.

Таким образом, интенсификация теплообмена при возбуждении колебаний воздушного потока вызвана, по-видимому, увеличением поверхности кусков кокса, принимающей активное участие в процессе.

В то же время отчетливо проявляется связь частоты, соответствующей максимуму кривой зависимости роста коэффициента теплообмена от частоты, со скоростью продуваемого через слой газа. Росту скорости газа отвечает увеличение этой частоты, что можно связать с обогащением при этом спектра турбулентных пульсаций, когда колебательная составляющая, естественно присущая турбулированному потоку воздуха, еще до наложения дополнительных колебаний интенсифицирует теплообмен, чем снижает эффективность привнесенных в поток колебаний. Этим же, а также ростом амплитуды турбулентных пульсаций потока газа, по-видимому, объясняется снижение величины относительного коэффициента теплообмена при увеличении скорости газа. В то же время влияние амплитуды турбулентных пульсаций, вероятно, проявляется в области низких ее значений, так как в наших экспериментах изменение звукового давления с 333 н/м² до 500,0 н/м² не сказалось сколь-нибудь заметно на величине коэффициента теплообмена.

Возвращаясь к зависимости коэффициента теплообмена от частоты (см. фигуру) следует отметить, что наблюдающийся здесь более крутой ход кривой слева от максимума, по-видимому, обусловлен как относительно высокочастотным характером турбулентных пульсаций, так и тем, что составляющие слой куски имели большое число тонких и разнообразных по глубине пор, собственные частоты которых лежат в сравнительно высокочастотной части спектра.

Обращаясь к практике интенсификации теплообменных процессов в слое, следует отметить, что, как правило, результаты мероприятий, направленных на интенсификацию подобных процессов в шахтных печах и аналогичных им устройствах, оказываются ниже теоретически возможных из-за отрицательного влияния неравномерного распределения газового потока по сечению слоя. При этом во многих случаях такая неравномерность органически присуща подобным агрегатам.



В этих условиях описанный характер зависимости эффекта колебаний газового потока от его скорости должен способствовать интенсификации теплообменных и аналогичных им процессов в большей степени в областях замедленного газового потока, нежели там, где газовый поток обладает большой скоростью. Последнее же, способствуя более равномерной работе слоя, обеспечит улучшение показателей процесса в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. Н. Кубанский. Интенсификация теплообмена ультразвуком. Теплоэнергетика, 1962, 11, 75—79.
2. И. А. Бокун, В. С. Забродский. Экспериментальное исследование теплообмена между пульсирующим слоем и поверхностью нагрева. В сб. «Исследование тепло- и массообмена в технологических процессах и аппаратах». Минск, «Наука и техника», 1966, 27—32.
3. С. С. Забродский, А. Л. Парнас. О возможности интенсификации междуфазового тепло- и массообмена в газозвеси пульсирующим резонансным потоком. Инж. физ. ж., 1965, 6.
4. P. D. Richardson. The influence of sound on heat transfer in separated flows. Chem. Eng. Sci., 1966, 21, 67, 609—610.
5. А. С. Штейнберг. О влиянии колебаний на теплообмен между потоком газа и поверхностью твердых тел. Теплоэнергетика, 1966, 8, 75—77.
6. А. Н. Плановский, В. А. Сви́нarov, А. П. Фокин, С. П. Рудопашта. Исследование массоотдачи от тел сферической формы к газовому потоку. В сб. «Общие вопросы тепло- и массообмена. Минск, «Наука и техника», 1966, 3—9.
7. Ю. А. Борисов, И. М. Гинкина. Опыты по сушке коллоидных материалов в стоячей звуковой волне. Акуст. ж., 1966, 12, 1, 107—109.
8. H. V. Fairbanks, R. E. Cline. Acoustic drying of coal. Col. Eng., 1967, 44, 519, 184—187.
9. И. Н. Фиклистов, Г. А. Аксельруд. Кинетика массообмена между слоем твердых частиц и пульсирующим потоком жидкости. Инж.-физ. ж., 1966, 10, 4, 531—537.
10. Б. С. Фиалков. Контроль движения шихтовых материалов над зонами горения. Изв. вузов, Черная металлургия, 1961, 10, 19—25.
11. В. Т. Плицын, Б. С. Фиалков, В. К. Грузинов. Изучение зон горения кокса в доменной печи на основе электронно-ионных явлений. Изв. вузов, Черная металлургия, 1966, 10, 22—28.
12. H. Schenck, I. Clots. Исследование влияния пульсаций газового потока на восстановление окислов железа. Stahl und Eisen, 1960, 80, 22, 33, 1453—1457.

Карагандинский филиал института
горючих ископаемых
Министерства угольной промышленности СССР

Поступило в редакцию
22 марта 1968 г.

УДК 534.222.1

К ВОПРОСУ ОБ УСТАНОВЛЕНИИ АКУСТИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ

Н. Г. Семенова

В работе [1, 2] было показано, что характер процесса установления скорости акустического течения может быть различным. Он может быть представлен либо в виде монотонной функции, близкой к экспоненте, либо в виде немонотонной функции с максимумом скорости в момент времени $t_{фр}$ и с дальнейшим спаданием скорости течения до практически постоянного значения $u_{уст}$. В отличие от многих других нелинейных акустических явлений оказалось, что вид функции определяется не величиной акустического числа Рейнольдса ($Re_{ак} = P/b\omega$, где P — амплитуда звукового давления, $b = \frac{4}{3}\eta + \eta'$, η и η' — соответственно сдвиговая и объемная вязкости, ω — круговая частота), а величиной энергии звука поглощенной средой. Этот факт иллюстрируется фиг. 1, где представлены зависимости мгновенных значений скорости потока u от времени при постоянном акустическом числе Рейнольдса $Re_{ак} = 145$ (кривые 1, 2, 3). Параметром кривых является величина средней интенсивности звука, вводимой в среду. Работа проводилась в импульсном режиме, так как только в этом случае можно изменять интенсивность звука, оставляя неизменным акустическое число Рейнольдса. Кривые 1, 2, 3 сняты в воде на частоте 1,25 Мгц (диаметр излучателя 20 мм) на расстоянии 25 см от излучателя при интенсивностях у его поверхности соответственно 18,3 вт/см² ($\tau = 800$ мксек, $f_{след} = 50$ гц), 4,6 вт/см² ($\tau = 400$ мксек, $f_{след} = 25$ гц) и 1,1 вт/см² ($\tau = 200$ мксек, $f_{след} = 12,5$ гц). Метод