

ОТЗЫВ НА ДОРАБОТАННЫЙ ВАРИАНТ СТАТЬИ А. П. ХОХЛОВА  
«К ТЕОРИИ РЕЗОНАНСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЛН  
ТОЛЛМИНА — ШЛИХТИНГА»

Рецензируемая работа может рассматриваться как одна из модификаций теории слабонелинейного критического слоя для трехмерных возмущений. Исходя из системы уравнений трехпалубной схемы свободного взаимодействия (которая сама получается в результате определенных предположений о порядках зависимых и независимых переменных и представления решения уравнений Навье — Стокса в виде рядов специального вида по отрицательным степеням числа Рейнольдса), автор внутри указанной асимптотической схемы вводит новые разложения относительно сдвигового невозмущенного решения  $u = y, v = w = 0$ . Изучая периодические по пространству возмущения с компонентами волнового вектора  $\alpha, \beta$  и полагая величину  $\varepsilon = c^{-1}$ , где  $c$  — фазовая скорость, малым параметром, из дисперсионного соотношения линейной теории устойчивости сразу можно получить масштаб длины  $\Delta x \sim \alpha^{-1} \sim \varepsilon$ , принятый в работе. Нестационарный критический слой определяет масштаб времени  $\Delta t \sim \varepsilon^{2/3}$ , которое является «медленным» по сравнению с характерным временем  $\Delta t \sim \varepsilon^2$  колебаний в линейной волне Толлмина — Шлихтинга. Фактически параметром разложения искомого решения служит  $\varepsilon^{2/3}$ , что обосновывается вышеприведенными тривиальными оценками (члены, отличные от первого приближения на величину порядка  $\varepsilon^{2/3}$ , включены в самое первое приближение, поэтому второе приближение для всех рассматриваемых функций относительно первого имеет порядок не  $\varepsilon^{2/3}$ , а  $\varepsilon^{4/3}$ ; порядки малости следующих приближений растут на упомянутую величину  $\varepsilon^{2/3}$ ).

Менее тривиальным является выбор амплитуды первого приближения. Обозначим амплитуду возмущений продольной компоненты скорости в критическом слое через  $\delta = \varepsilon^n$ . Хотя в работе и утверждается, что порядок медленного времени однозначно задает характерную амплитуду, оценка для  $\delta$  устанавливается дополнительным требованием появления нелинейных членов в уравнениях четвертого приближения. В самом деле, первое и четвертое приближения отличаются на величину порядка  $\varepsilon^{8/3}$  (для всех функций и во всех разложениях). Из условия равенства порядков членов  $\partial \tilde{u}_4 / \partial t_1$  и  $\tilde{u}_1 \partial \tilde{u}_1 / \partial x$  в критическом слое получается  $\delta = \varepsilon^3$ , как и принято в работе.

Основная идея работы состоит в определении зависимости от медленного времени первого приближения из условия разрешимости уравнения, фигурирующего в задаче определения давления и содержащего функции четвертого приближения. Приведенные выше соображения по обоснованию выбора амплитуды в новом варианте работы отсутствуют. Не вполне ясно, можно ли предложить иные способы амплитудных оценок. Очевидно, работа существенно выиграла бы в случае расшифровки той формы, в которой ищется решение; при чтении ее в представленном виде описываемые эволюционные свойства возмущений воспринимаются как результат формальной подстановки в трехмерные уравнения взаимодействия разложений некоторого вида, приводящего к обладающей свойством непротиворечивости цепочке задач.

Затрагиваемый вопрос о выборе  $\delta$  важен в силу того, что при  $\delta \ll \varepsilon^3$  рассматриваемая теория должна переходить в линейную теорию устойчивости, для которой в случае  $\alpha \gg 1, \beta \gg 1$  имеем

$$\omega = \alpha(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} + O(1).$$

Здесь член  $O(1)$ , отсутствующий в приводимой автором формуле для  $\omega$ ,

содержит мнимую часть, определяющую скорость роста линейных колебаний. Это означает, что в задаче наряду со временем  $t_0 \sim \varepsilon^{-2}t$  и  $t_1 \sim \varepsilon^{-2/3}t$  присутствует время  $t_2 \sim t$ . Учет времени  $t_2$  может изменить уравнения для приближений, предшествующих четвертому (напомним, что все разложения ведутся в работе по параметру  $\varepsilon^{2/3}$ ). Поэтому возникает подозрение, что не включенная в асимптотические ряды зависимость от времени  $t_2$  может не только приводить к неверной скорости роста возмущений при линеаризации задачи, но и исказить эволюцию амплитуд как функций времени  $t_1$  в нелинейном режиме.

Таким образом, отмеченную рецензентами в отзыве на первоначальный вариант работы неясность предписываемого вида решения следует понимать не просто как пожелание к улучшению стиля изложения, а как нечеткость формулировки существа рассматриваемой проблемы. Из переработанного варианта статьи видно, что замечания рецензентов не до конца поняты автором.

Тем не менее статья А. П. Хохлова «К теории резонансного взаимодействия волн Толлмина — Шлихтинга» заслуживает опубликования в журнале ПМТФ, причем в том виде, в котором она представлена после переработки. Однако, как следует из вышеизложенного, вопрос о том, являются ли содержащиеся в ней результаты асимптотически точными, остается открытым.

УДК 534.2 : 532.529

*Д. А. Губайдуллин, А. И. Ивандаев*

### **ВЛИЯНИЕ ПОЛИДИСПЕРСНОСТИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА В СМЕСЯХ ГАЗА С ПАРОМ И КАПЛЯМИ ЖИДКОСТИ**

Распространение нестационарных возмущений малой амплитуды в гетерогенных смесях газа с паром и каплями жидкости является одной из актуальных проблем волновой динамики двухфазных систем. Такие гетерогенные среды — основные рабочие тела в энергетических установках, аппаратах химической технологии и других установках и аппаратах современной техники. При этом для контроля протекания различных технологических процессов в технике широко используются расчеты и измерения скорости распространения и поглощения акустических волн. Поэтому важное значение приобретают исследования по изучению влияния различных физико-химических превращений на характер распространения возмущений в двухфазных газокapпельных системах.

Несмотря на ряд опубликованных работ, распространение звуковых волн в парогaзoкапельных системах при наличии межфазного массообмена изучено еще далеко не достаточно. Большинство работ по акустике парогaзoкапельных сред посвящено исследованию распространения слабых волн в монодисперсных системах [1—12]. Ряд аспектов влияния полидисперсности на распространение акустических возмущений в газозвзвесах при отсутствии массообмена рассмотрен ранее в [4, 13]. Практически не изучен вопрос о распространении звука в полидисперсных парогaзoкапельных смесях. В настоящей работе впервые исследовано влияние полидисперсности на распространение слабых волн в парогaзoкапельных системах при учете эффектов неравновесного фазового превращения.

1. Рассмотрим одномерное движение полидисперсной парогaзoкапельной смеси в акустическом поле, когда возмущения параметров сме-