

в виде внутримолекулярного колебания SH^- , намного превышает частоты кристаллических колебаний.

В заключение выражаю глубокую благодарность К. Ребане за руководство работой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мауринг Т., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., **19**, 218 (1971).
2. Seward W. D., Narayanamurti V., Phys. Rev., **148**, 463 (1966).
3. Wedding B., Klein M. V., Phys. Rev., **177**, 1274 (1968).
4. Сильд О., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., **17**, 203 (1968).
5. Devonshire A. F., Proc. Roy. Soc., A **153**, 601 (1936).
6. Ребане К., Сильд О., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., **19**, 311 (1970).

Институт физики и астрономии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
10/VII 1971

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED. 21. KÕIDE
FÜÜSIKA * МАТЕМАТИКА. 1972, NR. 1

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ТОМ 21
ФИЗИКА * МАТЕМАТИКА. 1972, № 1

<https://doi.org/10.3176/phys.math.1972.1.17>

УДК 532.517.4

М. ЛААТС, Ф. ФРИШМАН

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ДВУХФАЗНОЙ СТРУЕ

M. LAATS, F. FRISHMAN. TURBULENTSUSE INTENSIVSUS KAHFAASILISES JOAS

M. LAATS, F. FRISHMAN. ON MEASUREMENTS OF THE INTENSITY OF TURBULENCE IN A TWO-PHASE JET

На развитие свободных двухфазных турбулентных течений существенное влияние оказывает относительное движение фаз. Относительное осредненное движение обуславливает не только обмен импульсом и в связи с этим искажение обычно универсального профиля скорости на основном участке струи, но и появление поперечной миграции частиц [1]. Относительное пульсационное движение является причиной изменения интенсивности турбулентного переноса в струе и, следовательно, ее дальности. Изучение каждого из этих видов относительного движения в зависимости от концентрации и размера частиц необходимо для более или менее обобщенного описания двухфазной струи. Однако в связи с проблематичностью использования термоанемометра в потоках с инерционными частицами в известных нам работах [2], характеристики турбулентности в двухфазной струе измерены при весьма низких концентрациях мелкой примеси.

В настоящей работе приводятся результаты исследования интенсивности турбулентности на оси осесимметричной струи диаметром $d = 35$ мм, содержащей на 1 кг воздуха до 0,5 кг довольно однородного корундового порошка ($\rho = 4000$ кг/м³). Использовались порошки со средневзвешенными размерами $\delta = 7; 17; 32; 49; 80; 120$ мкм. Одновременно в соответствующих точках струи с помощью изокинетических трубок измерялись осредненные поток массы примеси — g г/сек мм² k скорость — и м/сек.

Интенсивность турбулентности определялась по характеристикам распределения тепла в следе за проволочной нитью-источником диаметром 200 мкм, нагреваемой стабилизированным электрическим током.

Измеренная вблизи источника дисперсия распределения тепла $\sigma_{изм}^2$ может быть представлена суммой тэйлоровской дисперсии $\sigma_0^2 = \varepsilon_0^2 x_M^2$ (ε — искомая интенсивность турбулентности, x_M — расстояние измеряемого сечения от источника) и поправок, учитывающих особенности объекта исследования. Измерения вблизи источника позволили свести к минимуму искажающее действие градиентов осредненных и пульсационных величин в струе. Влияние фрикционного нагрева приемника и градиентов температуры по ширине струи исключалось с помощью двух измерений с нагретым и холодным источником. Учитывая высокий уровень турбулентности исследуемого объекта, молекулярной диффузией можно пренебречь. Межфазовый теплообмен может привести к перераспределению тепла в объеме измеряемого следа, поэтому диапазон опытов ограничен малыми концентрациями мелкой примеси.

Существенной оказалась лишь поправка $\Delta\sigma^2$, учитывающая особенности обтекания источника конечного размера. Исследование течения за цилиндрическими источниками различного диаметра при различной турбулентности набегающего потока показало, что $\Delta\sigma^2$ пропорциональна дисперсии динамического следа за цилиндром, а отношение $\Delta\sigma/\sqrt{x_M d}$ при $4 < \varepsilon < 20\%$ пропорционально интенсивности турбулентности

$$\Delta\sigma/\sqrt{x_M d} = (0,3 + 5\varepsilon_0). \quad (1)$$

Было также установлено, что твердая примесь, видимо вследствие ее соизмеримости с масштабами вихрей за источником, не влияет на расширение следа и, следовательно, на $\Delta\sigma$.

Таким образом, интенсивность турбулентности определялась по дисперсии измеренного распределения тепла с помощью формулы

$$\sigma_{изм}^2 = \sigma_0^2 + \Delta\sigma^2 = \varepsilon_0^2 x_M^2 + (0,09 + 3\varepsilon_0 + 25\varepsilon_0^2) x_M d. \quad (2)$$

Результаты измерений, приведенные на рис. 1, позволяют заключить, что во всем диапазоне измерения начальной концентрации (0—0,5) кг/кг и крупности (0—120) мкм интенсивность турбулентности в струе уменьшается с увеличением начальной концентрации данной примеси (кривые 1—3) и всегда остается меньше интенсивности турбулентности однофазной струи, что указывает на подавляющее влияние дисперсной фазы на струйную турбулентность. При одинаковой загрузке струи (кривые 4—6) вблизи сопла это влияние увеличивается с уменьшением крупности примеси, однако по мере удаления от сопла влияние дисперсной фазы убывает тем быстрее, чем мельче примесь, так что на больших расстояниях наблюдается обратная картина. Качественно такой же характер имеют закономерности рассеивания примеси [3]. Следовательно, целесообразно сопоставить указанное влияние с местной концентрацией примеси κ_T . Поскольку отношение конечных пульсационных

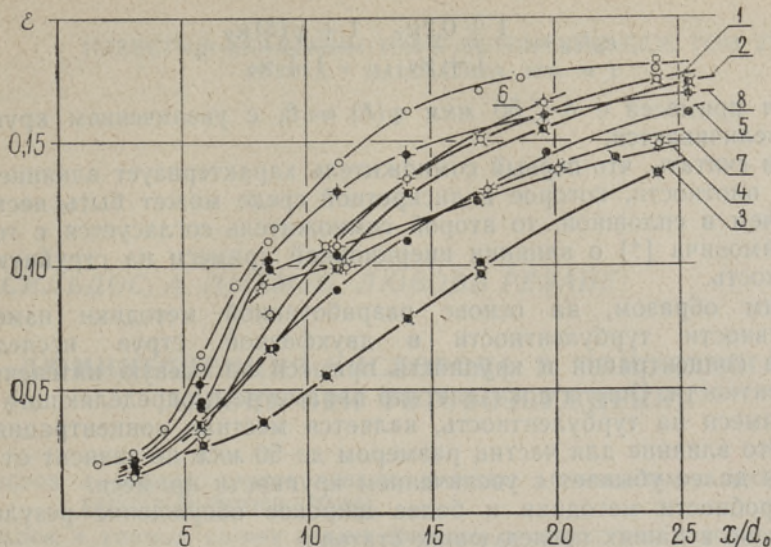


Рис. 1. Интенсивность турбулентности на оси однородной и двухфазной струи.

○ -воздух; ✕ -δ=17, $\kappa_0=0,15$; ✕ -17, 0,22; ✕ -17, 0,45; ✕ -80, 0,22; ● -32, 0,15; ◇ -7, 0,22; ✕ -49, 0,15; ◆ -120, 0,22.

скоростей турбулентного моля с примесью и без нее, приведенное к одинаковой осредненной скорости, характеризует взаимодействие фаз в пульсационном движении, то обратное влияние примеси определяется отношением $\varepsilon_{п}/\varepsilon_{в}$. Зависимость $\varepsilon_{п}/\varepsilon_{в} = f(\kappa_0)$ представлена на рис. 2.

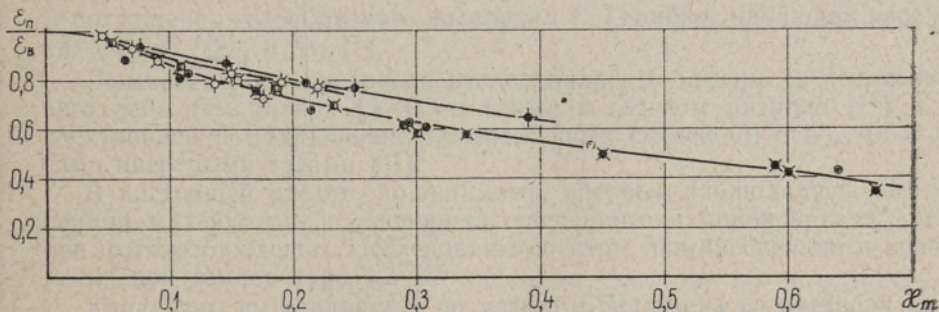


Рис. 2. Влияние примеси на струйную турбулентность.

○ — δ = 32, $\kappa_0 = 0,3; 0,4; 0,6$; остальные обозначения см. на рис. 1.

Она подтверждает, что местная концентрация действительно практически однозначно определяет влияние примеси на интенсивность турбулентности, так как независимо от начальных параметров (скорости u_0 , концентрации κ_0) и их распределения это отношение универсально. Мало того, одинаковая зависимость свойственна примесям с $\delta = 7; 17; 32; 49$ мкм (нижняя кривая). Это свидетельствует о том, что такие частицы полностью разгоняются за время взаимодействия с моле несущей фазы. С увеличением крупности влияние примеси уменьшается (кривые 2 и 3).

Зависимости, приведенные на рис. 2, могут быть аппроксимированы выражением

$$\varepsilon_{п}/\varepsilon_{в} = \frac{1 + 0,2\kappa_{т}}{1 + \kappa_{т}} \cdot \frac{1 + \varphi(\delta)\kappa_{т}}{1 + \kappa_{т}}, \quad (3)$$

где для примесей с $\delta < 50$ мкм $\varphi(\delta) = 0$, с увеличением крупности $\varphi(\delta)$ увеличивается.

Если считать, что первый множитель характеризует влияние переменной плотности, которое в дискретной среде может быть несколько иным, чем в сплошной, то второй множитель согласуется с теорией Г. Абрамовича [4] о влиянии инерционной примеси на струйную турбулентность.

Таким образом, на основе разработанной методики измерения интенсивности турбулентности в двухфазной струе исследовано влияние концентрации и крупности примеси на осевую интенсивность турбулентности. Опыты показали, что параметром, определяющим влияние примеси на турбулентность, является местная концентрация примеси. Это влияние для частиц размером до 50 мкм не зависит от крупности, а далее убывает с увеличением крупности примеси.

Подробности методики и более широкое обсуждение результатов будет дано в наших последующих статьях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаатс М. К., Фришман Ф. А., Изв. АН СССР, МЖГ, № 2 (1970).
2. Hetsroni G., Sokolov M., Papers Am. Soc. Mech. Eng., No. WA/APM-45 (1970).
3. Лаатс М. К., Фришман Ф. А., ИФЖ, XVIII, № 4 (1970).
4. Абрамович Г. Н., ДАН СССР, 190, № 5 (1970).

*Институт термофизики и электрофизики
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
5/X 1971