

ДИНАМИКА ОСАЖДЕНИЯ КОНСОЛИДИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

В.А. Архипов, С.А. Басалаев, А.С. Усанина

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский
Томский государственный университет»
634050, Томск, Россия*

Задача о закономерностях движения совокупности частиц дисперсной фазы (капель, пузырьков или твердых частиц) в дисперсионной среде в гетерогенных потоках представляет интерес при формулировании адекватных физико-математических моделей процесса динамического взаимодействия частиц при взаимных столкновениях и с несущей средой, а также при решении ряда классических задач гидродинамики. В частности, в задачах очистки водоемов от примесей, требуется знать величину оптимальной концентрации осаждаемых частиц. В задачах гидроподавления пыли в угольных шахтах необходимо иметь представление о динамике облаков субмикронных капель. В задачах распространения и оседания облака пыли при катастрофических явлениях техногенного или природного характера (извержение вулкана, промышленные взрывы и т.п.) важно определить принципы взаимодействия частиц в облаке и их поведение в атмосферных условиях.

Одним из параметров, определяющих закономерности движения частиц дисперсной фазы в потоке, является коэффициент сопротивления. Наиболее обширные результаты по коэффициенту сопротивления получены для одиночных частиц. С. Соу [1] в своей монографии утверждает: «Если объемная концентрация твердых частиц C_V достаточно велика (толщина пограничного слоя среды превышает расстояние между частицами), то коэффициент сопротивления для одиночных частиц не применим для облака частиц». Соу С. был первым, кто заметил то, что выражение для скорости падения группы частиц будет отличаться от скорости оседания одиночной частицы значением коэффициента сопротивления C_D .

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования процесса гравитационного осаждения совокупности твердых сферических частиц в вязкой жидкости в области малых чисел Рейнольдса ($Re < 1$). В рамках проводимых исследований проанализировано влияние начальных параметров эксперимента (количества, начальной объемной концентрации) на основные динамические характеристики облака частиц.

Исследование проводилось на установке, состоящей из вертикально установленной прозрачной кюветы с плоскопараллельными стенками, наполненной глицерином, системы сброса частиц и системы визуализации процесса гравитационного осаждения системы твердых сферических частиц. В качестве частиц использовались стальные шарики диаметром $d=0.2$ мм и $d=0.7$ мм. Кювета размером $300 \times 300 \times 900$ мм (объемом 81 л) изготовлена из оптического стекла толщиной 15 мм [2]. В экспериментах величина начальной концентрации варьировалась в диапазоне $C_{V0}=0.023 \div 0.47$.

Обнаружено, что динамика движения облака частиц зависит от начальной объемной концентрации C_{V0} . При значениях $C_{V0} > 0.04$ изначально сферическое облако частиц в процессе движения принимает форму сфероида, а затем распадается на несколько

фрагментов [2]. При начальной концентрации $C_{V0}=0.023\div 0.04$ после приобретения сфероидальной формы облако постепенно расширяется, но не распадается на отдельные фрагменты.

Получены экспериментальные зависимости скорости движения облака частиц u_s от количества частиц N в облаке и от пройденного расстояния h (рис. 1, 2).

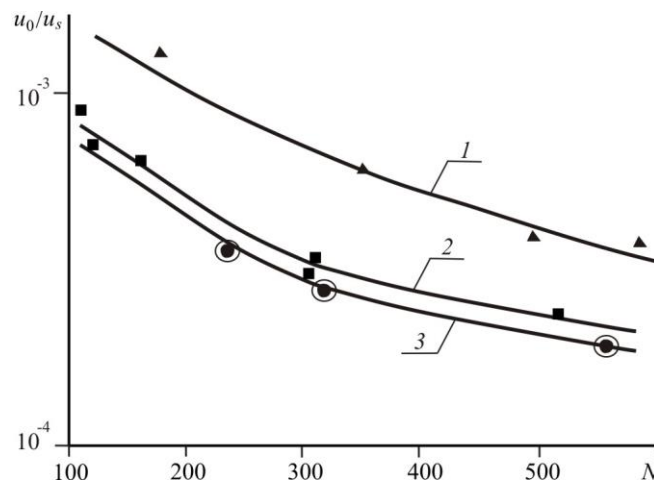


Рис. 1. Зависимость скорости осадения системы частиц от их количества:
1 – $C_{V0}=0.05$; 2 – $C_{V0}=0.18$; 3 – $C_{V0}=0.24$

На рис. 1, 2 использованы следующие обозначения: u_0 – скорость одиночной частицы; D – диаметр облака частиц. Из анализа рис. 1 следует, что скорость осадения совокупности частиц возрастает по мере увеличения количества частиц в облаке. Из вышеприведенного анализа динамики осадения облака частиц и рис. 2 следует, что величина скорости группы частиц в процессе движения постепенно уменьшается, приближаясь к значению для скорости движения одиночной частицы.

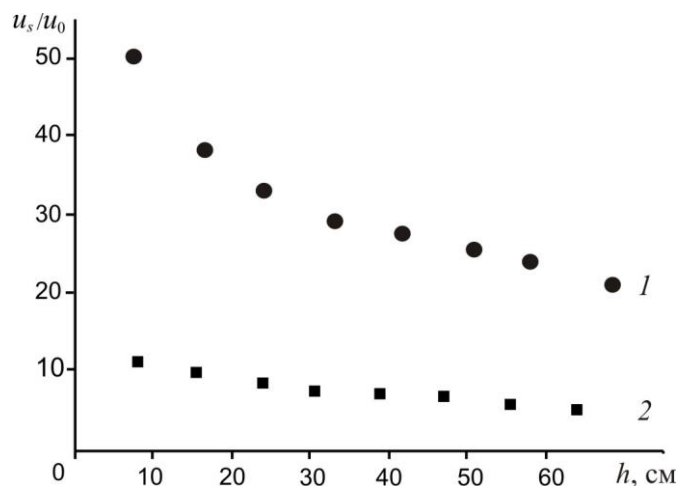


Рис. 2. Зависимость скорости осадения системы частиц от пройденного расстояния
($d=0.2$ мм, $D=8.2$ мм): 1 – $C_{V0}=0.31$; 2 – $C_{V0}=0.069$

На основе полученных экспериментальных данных проведены вычисления экспериментального значения коэффициента сопротивления совокупности частиц. Анализ результатов проведенных экспериментов позволил получить обобщенную эмпирическую зависимость для коэффициента сопротивления облака частиц от безразмерного комплекса $\Pi = \text{Re} \cdot C_{V0}$ (где $\text{Re} = D\bar{u}\rho_l / \mu_l$; μ_l – коэффициент динамической вязкости жидкости; ρ_l – плотность жидкости; \bar{u}_s – средняя скорость осаждения облака)

$$C_D = \frac{14.6}{(\text{Re} \cdot C_{V0})^{0.7}}.$$

Полученные экспериментальные данные могут быть использованы для уточнения существующих физико-математических моделей движения частиц дисперсной фазы в несущем потоке, в частности математической модели эволюции жидко-капельного аэрозоля в атмосфере.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №15-19-10014).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сой С.** Гидродинамика многофазных систем. М.: Мир.
2. **Arkhipov V.A., Usanina A.S.** Gravitational sedimentation of cloud of solid spherical particles at small Reynolds numbers // EPJ Web of Conferences. Thermophysical Basis of Energy Technologies. Tomsk. October 15-17. 2015. Vol.82. 01017