

## ТЕПЛОФИЗИКА И ГИДРОДИНАМИКА

УДК 532.526.2.011.6

DOI: 10.17223/00213411/68/8/1

**К вопросу о силе сопротивления шара  
при его вертикальном обтекании в поле силы тяжести**С.О. Гладков<sup>1</sup><sup>1</sup> *Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
г. Москва, Россия*

Приведено аналитическое решение задачи о вычислении силы сопротивления шара в поле силы тяжести, когда поток вязкого континуума обтекает его точно по вертикали. Полученная общая формула для силы сопротивления проанализирована в некоторых предельных случаях, и показано, что она сильно зависит от высоты падения потока. Дается обобщенное выражение для силы сопротивления, когда обтекание шара происходит в потоке, скорость движения которого направлена под некоторым углом  $\alpha$  к вертикали. Найдено физическое условие возможного стекания жидкости с поверхности шара при его горизонтальном обтекании, а также критерий применимости формулы Стокса. Приведено также строго обоснованное условие того, когда возможен эффект парения частиц мелкодисперсной фазы.

**Ключевые слова:** сила тяжести, уравнение Навье – Стокса, сила сопротивления.

**Введение**

Вопрос, на котором мы хотели бы остановиться в настоящей работе, посвящен аналитическому решению задачи о вычислении силы сопротивления, которую испытывает шар, обтекаемый вертикальным потоком вязкого континуума. Фактически речь идет о задаче Стокса, но только в поле силы тяжести. Интерес к ней вызван, прежде всего, тем обстоятельством, что до настоящего момента времени никаких вычислений в этом направлении мы не обнаружили.

В самом деле, когда речь идет о классической задаче Стокса, связанной с вычислением силы сопротивления шара, обтекаемого горизонтальным потоком вязкой жидкости, в этом случае сила тяжести роли не играет, и, в рамках граничных условий прилипания [1], сопротивление в горизонтальном потоке описывается формулой

$$F_S = 6\pi\eta Ru, \quad (1)$$

где  $\eta$  – динамическая вязкость континуума;  $R$  – радиус шара;  $u$  – скорость потока.

**1. Критерий применимости формулы (1)**

В связи с упоминанием формулы Стокса необходимо также обратить внимание и на следующий важный момент. Дело в том, что когда скорость потока мала, то вполне возможен эффект стекания жидкости с поверхности шара под воздействием силы тяжести.

Действительно, поскольку процесс стекания является нестационарным, то для оценки времени стекания можно воспользоваться кинематической формулой  $t = \sqrt{\frac{H}{2g}}$ , где  $g$  – ускорение силы тяжести,  $H$  – высота падения потока. Поскольку линейную длину стекания с самой верхней точки поверхности шара можно определить как  $H = \pi R$ , то время стекания следует оценить как

$$t_c = \sqrt{\frac{\pi R}{2g}}. \quad (2)$$

С другой стороны, поток жидкости, обтекающей шар в горизонтальном направлении, затрачивает на свое движение время

$$t_0 = \frac{\pi R}{u}. \quad (3)$$