

# ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦ ОКОЛО ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ В СДВИГОВОМ ПОЛЕ СКОРОСТИ

Федюшкин А.И.

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, 119526, Москва

В данной работе рассматривается задача о движении частиц вокруг цилиндрической частицы в сдвиговом потоке для невесомости ( $g=0$ ) и нормальных наземных условиях. Представлены случаи с плотностью частиц больше и меньше плотности движущейся жидкости (частиц нефти в воде и частиц воды в масле). Предполагается, что количество частиц слишком мало и они не оказывают влияния на движение основного потока.

Рассматривается движение частиц диаметром  $d$ , вокруг цилиндрической частицы диаметром  $d$ , которая находится в центре ( $x=0, y=0$ ) прямоугольной области  $[-X < x < X, -Y < y < Y]$ , с потоком жидкости вдоль оси  $x$  со скоростью  $\mathbf{V}(x, y) = \alpha y$  (см. рис.1). Вектор ускорения свободного падения  $g$  направлен навстречу оси  $y$ . На рис. 1. Показана схема области моделирования, с полем вектора скорости (слева на рисунке 1) и треки частиц обтекающих цилиндрическую частицу, которая находится в начале координат (справа на рисунке 1).

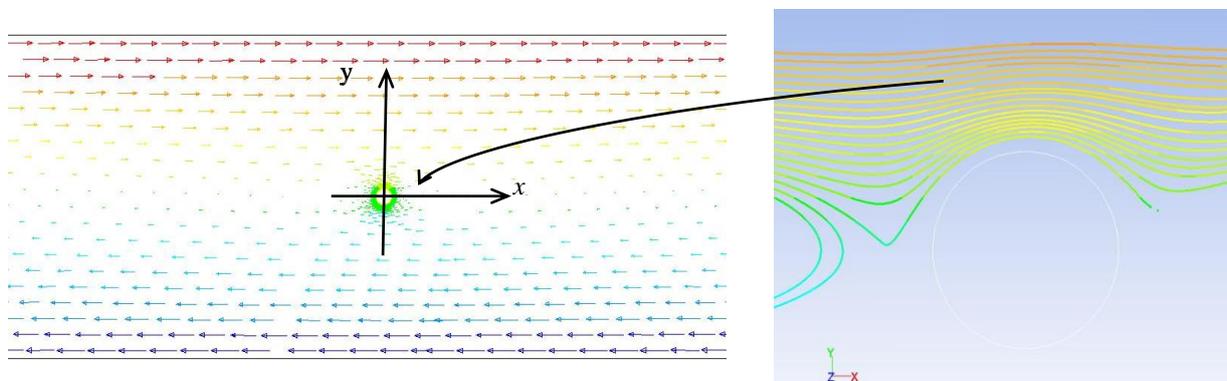
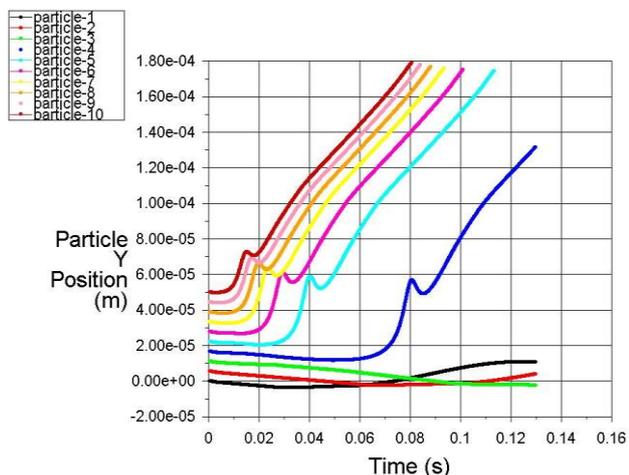


Рис. 1. Схема области моделирования, поле вектора скорости (слева) и треки частиц вокруг цилиндрической частицей, которая находится в начале координат (справа).

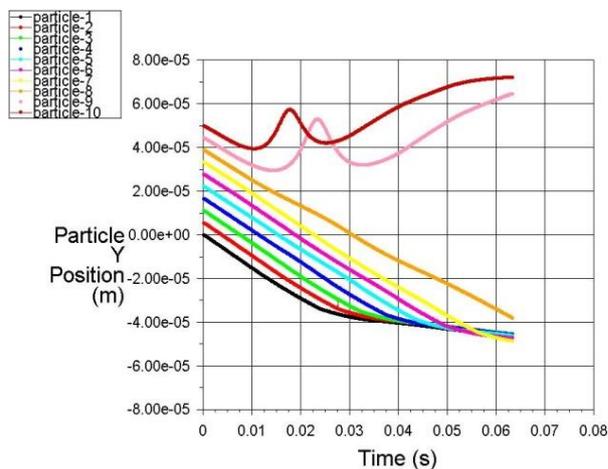
Частица в центре расчетной области моделируется не деформируемой цилиндрической поверхностью, вращающийся за счет сдвигового потока скорости. Рассмотрены примеры задания для поверхностного касательного напряжения равна нулю и задачи поверхностного натяжения для воды и нефти. Расчеты показали, что скорость на цилиндрической поверхности совпадает с угловой скоростью  $\omega = 1/2 \text{ rot } \mathbf{V}$  ( $\omega$  – вектор углового вращения элемента среды в точке).

Математическое моделирование осуществляется на основе численного решения нестационарных двумерных уравнений Навье-Стокса для несжимаемого ламинарного потока жидкости. Движение частиц рассчитывается в лагранжевых переменных [1].

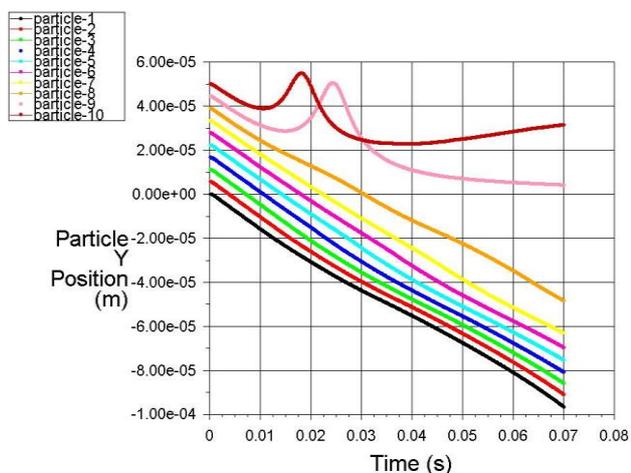
При взаимодействии частиц с потоком жидкости в модели были учтены силы трения, подъемная сила и силы Сафмана взаимодействия частиц с потоком при наличии градиентов скорости жидкости.



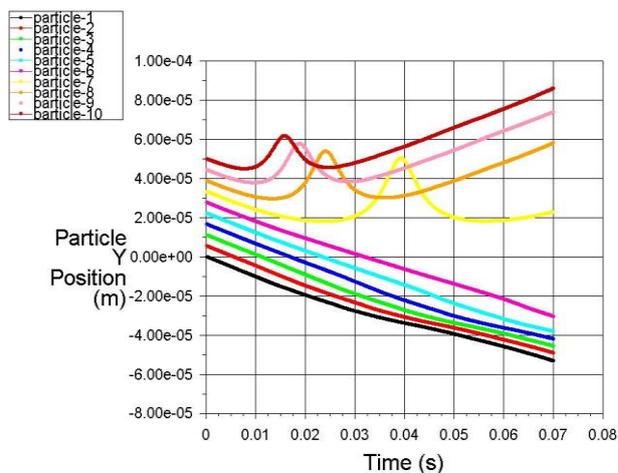
Капли дизельного масла в воде ( $g=9.81$ )



Капли дизельного масла в воде ( $g=0$ )



Капли воды в дизельном масле ( $g=9.81$ )



Капли воды в дизельном масле ( $g=0$ )

Рис. 2. Зависимости положения (координата  $y$ ) капель нефти и воды от времени на Земле (слева) и в невесомости (справа).

В начальный момент времени происходила инжекция частиц на разном расстоянии от оси абсцисс и на одинаковом расстоянии от начала координат. Начальное горизонтальное расстояние частиц было равно  $2d$  от центра области, и они равномерно расположены по вертикали в диапазоне от  $y=0$  до  $y=0.5d$ . При инжекции начальная скорость частиц соответствовала скорости среды в точке инжекции.

В данной работе проведено численное моделирование для следующих значений параметров: диаметра частиц  $d=0.0001\text{m}$ ,  $X = 0.0025\text{m}$ ,  $Y=0.001\text{m}$ ,  $\alpha=300\text{сек}^{-1}$ . В работе

представлены результаты для двух основных вариантов частиц и буферной жидкости со следующими свойствами: 1) капли дизельного масла (плотность 730 кг/м<sup>3</sup>) в воде (плотность 875кг/м<sup>3</sup>, вязкость 0.000589 кг/м сек), 2) капли воды в дизельном масле (плотность 730 кг/м<sup>3</sup>, вязкость 0.0024 кг/м сек).

На рис.2 показаны у координаты положения десяти частиц в зависимости от времени для земных условий и для невесомости. Первоначальное положение всех частиц было в полуплоскости  $y > 0$ , но со временем многие частицы переходят в нижнюю полуплоскость и из-за отрицательной скорости жидкости (при  $y < 0$ ) частицы отдаляются от обтекаемой капли (рис.2). Были проанализированы траектории большего количества частиц, чем 10, затем были рассчитаны зависимости расстояний двух наиболее близко приближаемых к обтекаемой частице, (находящейся в начале координат).

На рис. 3 представлены зависимости расстояния от этих двух выбранных частиц дизельного масла (движущихся в воде) до поверхности обтекаемой частицы от координаты  $x$  (от времени). Результаты расчета, представленные на рис. 3, показывают, что минимальное расстояние, на которое приближается капля дизельного масла к обтекаемой капле примерно равно  $0,07d$ .

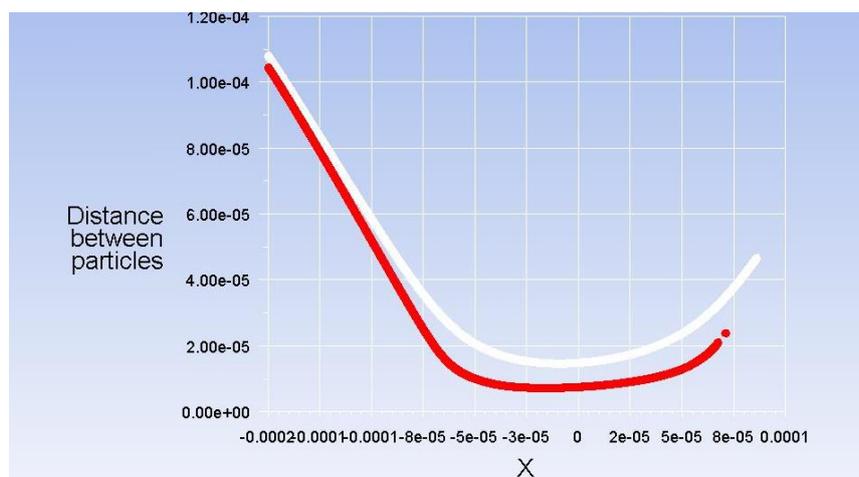


Рис. 3. Зависимости радиуса расстояния до поверхности обтекаемой частицы от положения (от координаты  $x$ ) для двух капель дизельного масла.

**Выводы.** Результаты численного моделирования показали характер влияния плотности, вязкости, подъемной силы и сопротивления сил на траектории движения частиц воды и масла в сдвиговом потоке. Определено минимальное расстояние сближения капель дизельного масла движущихся в сдвиговом потоке воды.

### Литература

1. *A. Fedyushkin.* The Movement of Water and Oil Particles around a Cylindrical Particle in a Shear Flow. Proceedings of Seventh International Symposium on Two-phase systems for ground and Space applications. Beijing. China, 2012. 43-45p.