

Сведения о выполненных работах в 2018 году
по проекту «**Экспериментально-теоретическое исследование процессов
динамического взаимодействия консолидированной системы частиц
дисперсной фазы в двухфазных потоках**»,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 15-19-10014

Руководитель д-р физ.-мат. наук Архипов Владимир Афанасьевич

В отчетном 2018 году выполнен весь объем запланированных работ и получен ряд новых научных результатов по процессам динамического взаимодействия консолидированной системы частиц дисперсной фазы в двухфазных потоках.

Проведен аналитический обзор результатов теоретических и экспериментальных исследований по закономерностям формирования облака полидисперсных капель при разрушении макрообъема жидкости. Проведен аналитический обзор результатов теоретических и экспериментальных работ по влиянию вдува газа с поверхности частицы дисперсной фазы на ее коэффициент сопротивления. Проведены патентные исследования в области новых технических решений по исследованию и созданию облака сферических полидисперсных частиц дисперсной фазы с заданной начальной объемной концентрацией. С учетом результатов патентных исследований и предварительных экспериментов разработаны два способа получения облака полидисперсных частиц с контролируемыми параметрами. Первый способ позволяет получить компактный сферический кластер полидисперсных твердых сферических частиц. Второй способ позволяет получить совокупность полидисперсных капель с контролируемой функцией распределения по размерам.

Проведена модернизация экспериментальной установки и методики исследования процесса гравитационного осаждения консолидированной системы твердых полидисперсных частиц в свободном объеме. Методика основана на введении сферического кластера полидисперсных частиц в кювету с вязкой жидкостью и визуализацию процесса гравитационного осаждения кластера скоростной двухракурсной видеосъемкой синхронизированными камерами.

Проведены экспериментальные исследования процесса движения в жидкости совокупности твердых сферических полидисперсных частиц с начальной объемной концентрацией $C > 0.08$ и заданным количеством частиц разной дисперсности в поле силы тяжести в широком диапазоне чисел Рейнольдса $0.001 < Re < 4$. Проведено более 300 серий экспериментов по исследованию гравитационного осаждения стальных и алюминиевых шариков диаметром от 1.3 до 3.2 мм. В качестве дисперсионной среды использовались жидкости с различными физическими свойствами: глицерин и полиметилсилоксановые жидкости ПМС-10000, ПМС-30000. В экспериментах исследована общая картина движения консолидированной системы твердых сферических частиц в зависимости от концентрации частиц в системе, свойств дисперсной и дисперсионной фаз, процентного соотношения частиц разной

дисперсности в системе. Исследованы закономерности движения совокупности твердых сферических частиц при различных режимах течения облака. Анализ результатов видеосъемки процесса осаждения системы твердых сферических полидисперсных частиц показал, что процесс движения консолидированной системы полидисперсных частиц с начальной объемной концентрацией $C > 0.08$, аналогично как для монодисперсных частиц можно разделить на четыре стадии: стадия движения шара, стадия формирования и движения сфероида, стадия деформации сфероида и стадия распада сфероида. Получены новые экспериментальные данные для коэффициента сопротивления облака частиц в зависимости от начальной объемной концентрации и процентного соотношения частиц разной дисперсности.

Разработаны оригинальные экспериментальные установки для исследования динамики формирования облака полидисперсных капель при разрушении ограниченного макрообъема жидкости в процессе его гравитационного осаждения и при обдуве газовым потоком. Облако полидисперсных капель образовывалось при прокалывании тонкостенной (толщина стенки менее 0.3 мм) резиновой оболочки, содержащей заданный макрообъем жидкости 50 мл (диаметр резинового шара 4.5 см) с определенным значением вязкости или коэффициента поверхностного натяжения. Процесс движения облака полидисперсных капель в поле гравитационных сил на расстоянии до 3 м, изменение его формы и размеров, а также последующий распад на капли фиксировался высокоскоростной видеокамерой.

Проведено экспериментальное исследование влияния вязкости жидкости на динамику формирования облака полидисперсных капель при разрушении ограниченного макрообъема жидкости в процессе его гравитационного осаждения и при обдуве газовым потоком в диапазоне чисел Рейнольдса $Re = 2000 \div 30000$. Проведено свыше 200 опытов для жидкостей с изменением коэффициента динамической вязкости от 0.001 до 1.5 Па·с. В качестве дисперсной среды использовались жидкости с различными физическими свойствами: вода, глицерин, водные растворы глицерина, ацетон. Проведено обобщение полученных экспериментальных результатов по исследованию влияния вязкости жидкости и значения коэффициента поверхностного натяжения на динамику распада облака полидисперсных капель, образованного при разрушении ограниченного макрообъема жидкости, в процессе его гравитационного осаждения и при обдуве газовым потоком.

Проведена модернизация экспериментального стенда для исследования процесса движения облака полидисперсных капель в различных дисперсионных средах. Для генерации облака полидисперсных капель использован способ, основанный на распыливании жидкости центробежным распылителем с контролируемым размером капель. Предварительные экспериментальные исследования показали, что спектр размеров капель в факеле распыла определяется распределением Розина-Раммлера, а максимальный размер капель коррелируется толщиной пленки жидкости. Для измерения динамики спектра размеров капель по их траектории использовалась установка с перемещением распылителя вдоль его оси в процессе измерения.

Для определения коэффициента сопротивления сферической частицы при вдуве газа с ее поверхности проведена модернизация экспериментальной установки. Проведено свыше 200 серий экспериментов по исследованию коэффициента сопротивления при вдуве газа с поверхности полой перфорированной сферической частицы диаметром $D_p = 40$ мм, массой $m_p = 2.71$ г. Получены новые экспериментальные данные по закономерности изменения коэффициента сопротивления полой перфорированной сферической частицы при вдуве газа с ее поверхности в диапазоне чисел Рейнольдса $Re = 3000 \div 10000$. Обнаружено, что полученные значения коэффициента сопротивления (без вдува газа) в диапазоне чисел Рейнольдса $Re = 3000 \div 10000$ согласуются со стандартной зависимостью для турбулентного режима обтекания ($C = 0.44$ при $Re > 10000$). Обнаружено, что при вдуве газа с поверхности частицы в исследуемом диапазоне чисел Рейнольдса $Re = 3000 \div 10000$ коэффициент сопротивления уменьшается $\sim 20\%$. Отмечено, что этот эффект более выражен при уменьшении скорости обдувающего потока. Получены новые экспериментальные данные для коэффициента сопротивления полой сферической частицы при варьировании соотношения скорости вдува газа и скорости обтекающего частицу потока.

Для определения коэффициента сопротивления твердых сферических частиц при их гравитационном осаждении в вязкой жидкости в неизотермических условиях проведена модернизация экспериментальной установки. Проведены экспериментальные исследования влияния температуры нагретой частицы на коэффициент сопротивления при малых числах Рейнольдса. Проведено более 200 серий экспериментов по исследованию гравитационного осаждения стальные шарики диаметром 3.0, 8.87 и 17.47 мм. В качестве вязкой жидкости использовалось силиконовое масло ПМС-10000. В экспериментах исследованы характеристики осаждения частиц в изотермических и неизотермических условиях. Получены новые экспериментальные данные по исследованию влияния температуры нагретой частицы на коэффициент сопротивления при малых числах Рейнольдса. Анализ результатов видеосъемки процесса осаждения твердых сферических частиц показал, что скорость осаждения нагретого шарика существенно превышает скорость осаждения эталонного шарика. По видеоряду процесса построен график зависимости пройденного нагретыми до 300°C и эталонными частицами расстояния от времени t . Обнаружено, что скорости частиц соответствуют стационарному режиму осаждения. Обнаружено, что в изотермических условиях измеренные значения коэффициента сопротивления соответствуют зависимости для эталонной частицы. При нагреве шариков происходит снижение коэффициента сопротивления, а при их разных диаметрах снижение происходит относительно одинаково. Получены новые экспериментальные данные для коэффициента сопротивления твердых сферических частиц при их гравитационном осаждении в вязкой жидкости в неизотермических условиях.

Проведена модернизация физико-математической модели эволюции жидко-капельного аэрозольного облака с учетом формирования первичного облака полидисперсных капель. В модернизированной модели учтены процессы формирования первичного облака полидисперсных капель в турбулентном следе при

сбросе жидкости с летательного аппарата, позволяющие определить параметры функции распределения капель по размерам, а также результаты дополнительной серии экспериментов по определению коэффициента сопротивления капель с учетом неизотермичности (разность температур капель и среды) и вдува газа с поверхности испаряющихся капель. На базе модернизированной физико-математической модели разработана программа расчета эволюции аэрозольного облака. На основе модернизированной физико-математической модели проведены предварительные параметрические расчеты процесса эволюции жидко-капельного облака в атмосфере применительно к задаче авиационного тушения пожаров сбросом жидкости.

С целью использования результатов проекта в научно-образовательном процессе подготовлены дополнительные лекции по гравитационному осаждению полидисперсных частиц в вязкой жидкости и по влиянию неизотермичности и вдува газа с поверхности частицы на коэффициент сопротивления для студентов физико-технического факультета Томского государственного университета. Установки для измерения коэффициента сопротивления частиц в неизотермических условиях и при вдуве газа с поверхности частицы используются при выполнении диссертационных работ аспирантами физико-технического факультета Томского государственного университета.

По результатам решения поставленных задач проекта в 2018 г. оформлены и направлены в ФИПС три заявки на изобретения и получено одно Свидетельство № 2018612307 о государственной регистрации программы для ЭВМ от 15.02.2018 г.