

## Содержание

Введение	7
Глава 1. Выбор параметров базового потока для экспериментального и численного исследования.	40
1.1. Определение соотношений массовых расходов фаз для максимально дальнобойной струи.	40
1.1.1. Исследование влияния числа Рейнольдса газовой фазы, скольжения дискретной фазы, относительного диаметра частиц и объемной загрузки потока частицами на компактность газокапельной струи.	41
1.1.2. Исследование влияния массовой загрузки потока частицами $G_p/G_g$ на компактность газокапельной струи	43
1.2. Определение расходов воздуха, воды и мелкости капель. Проектирование сопла для разгона газокапельной смеси.	46
1.3. Прогнозирование режима течения.	51
1.4. Выводы по главе 1	53
Глава 2. Математическая модель потока с учетом аэродинамического дробления капель, столкновений капель между собой и с пленкой. Метод расчета	58
2.1. Основные уравнения модели	58
2.2. Сила аэродинамического сопротивления	66
2.3. Сила Архимеда (плавучести) или учет неравномерного давления в потоке на движение капель	68
2.4. Об учете ускоренного движения капли	69
2.5. Модель пленки, текущей по стенке сопла	70
2.5.1. Основные положения модели пленки	70
2.5.2. Условия на границе между пленкой и газом внутри сопла	79
2.6. Модель столкновения капель	81
2.6.1. Столкновение с мелкими каплями	86

2.6.1.1. Изменение скорости капель группы $i$ при $F_{if}>0$	86
2.6.1.2. Изменение скорости капель группы $i$ при $F_{if}<0$	87
2.6.2. Столкновение с крупными каплями	88
2.6.2.1. Изменение скорости капель группы $i$ при $F_{if}>0$	89
2.6.2.2. Изменение скорости капель группы $i$ при $F_{if}<0$	90
2.6.3. Изменение массы, температуры и импульса группы капель в результате столкновений	91
2.6.4. Изменение диаметра в результате столкновений	91
2.6.5. Вычисление коэффициентов захвата $e_{if}$ , эффективности соударений $F_{if}$ и коэффициента уменьшения скорости отскочивших снарядов $\beta_f$	92
2.6.6. Доказательство выполнения законов сохранения массы, импульса и энергии в модели столкновений	94
2.7. Учет аэродинамического дробления капель	96
2.8. Метод расчета	97
2.8.1. Метод расчета – метод «крупных частиц»	97
2.8.2. Изменение расчетной сетки с учетом толщины пленки	103
2.8.3. Моделирование выхода пленки из сопла	104
2.9. Выводы по главе 2	105
Глава 3. Выбор расчетной сетки. Анализ вариантов математической модели. Проведение тестовых расчетов.	107
3.1. Определение размеров расчетной сетки	107
3.2. Роль поправки к коэффициенту аэродинамического сопротивления капель, учитывающей близость соседних частиц (стесненность потока)	108
3.3. Влияние учета силы Архимеда (градиента давления на капле) на результаты расчетов.	109
3.4. Моделирование экспериментов – иллюстрация особенностей предложенной модели	109
3.5. Выбор коэффициентов трения пленки	117
3.6. Изменение результатов численного моделирования потока при учете	

аэродинамического дробления капель	124
3.7. Изменение результатов численного моделирования потока при учете столкновений и аэродинамического дробления капель	124
3.8. Выводы по главе 3	129
Глава 4. Численное исследование газокапельного соплового течения и начального участка выходящей из сопла струи	135
4.1. Экспериментальная оценка параметров потока на входе в сопло.	135
4.2. Расчет параметров соплового течения без учета процессов в камере смешения	142
4.2.1. Слабая зависимость дисперсности потока на выходе из сопла от дисперсности после камеры смешения	142
4.2.2. Изменение давления вдоль радиуса струи у среза сопла	148
4.2.3. Устойчивость пленки в длинном сопле	149
4.2.4. Прогнозирование поведения жидкости на границе струи у среза сопла по результатам численного эксперимента	150
4.2.5. О локальных экстремумах распределения жидкости вдоль радиуса у среза сопла.	151
4.2.6. Выявление зоны с малым содержанием жидкости у стенки на срезе сопла.	154
4.3. Расчет потока в камере смешения	154
4.4. Расчет потока с учетом процессов в камере смешения	156
4.5. Выводы по главе 4	160
Глава 5. Экспериментальная проверка результатов численного исследования газокапельного потока в канале и на начальном участке струи	163
5.1. Сравнение расчетных и экспериментальных средних характеристик потока	163
5.2. Пленка у среза сопла	166

5.3. Зондовые измерения	171
5.3.1. Описание методики измерений зондами I и III типов	172
5.3.2. Результаты, полученные с помощью зондов I и III типов	174
5.3.3. Результаты, полученные с помощью зонда IV типа	176
5.3.4. Результаты, полученные с помощью зонда II типа	178
5.3.5. Определение скорости капель по результатам зондовых измерений	179
5.4. Оценка дисперсности полученной струи	180
5.6. Выводы по главе 5. Физическая (феноменологическая) модель газокапельного соплового течения при значительном (более 10) массовом содержании жидкости	183
Глава 6. Методы совершенствования дисперсных газочастичных систем пожаротушения и средств измерения в двухфазных потоках	187
6.1. Методика поиска оптимального режима работы газочастичного сопла	187
6.2. Анализ зондовых измерений	189
6.2.1. О совпадении расчетных и измеренных величин	189
6.2.2. О методике обработки результатов	193
6.2.3. Численное моделирование обтекания зонда новой конструкции для измерения параметров двухфазного потока со значительным содержанием жидкости	194
Глава 7. Использование результатов исследования на воздушном транспорте	199
7.1. Ранцевая установка пожаротушения НИИ НТ МАИ	199
7.1.1. Общее описание установки	199
7.1.2. Пояснения о работе ранцевой установки пожаротушения НИИ НТ МАИ	202
7.2. Установка пожаротушения большой мощности для пожарного вертолета Ка-32А	208
7.2.1. Анализ систем пожаротушения с использованием летательных аппаратов	208

7.2.2. Описание установки пожаротушения большой мощности для пожарного вертолета Ка-32А.	212
7.2.3. Выбор оптимального режима работы сопла системы пожаротушения вертолетного базирования	216
7.3. Оценка параметров водяной завесы при возгорании в салоне воздушного судна	218
7.4. Выводы по главе 7. Место перспективных технологий и систем пожаротушения НИИ НТ МАИ и ООО «ТЕМПЕРО» в номенклатуре вооружений аварийно-спасательных служб аэропортов	223
Заключение. Опыт использования и перспективы развития многожидкостной модели газочапельного потока с большой долей жидкости	227
Условные обозначения	237
Список использованных источников	237
Приложения	266