

РД 52.37.914-2021. Руководящий документ. Методы определения льдообразующей эффективности противогорадовых изделий в аэродинамической трубе и на лабораторных установках

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды · № РД 52.37.914-2021

• Действующий акт

(введен в действие Приказом Росгидромета от 27.08.2021 № 277)

Примечание

Применение данного документа продлено до 01.08.2031 Приказом Росгидромета от 02.09.2025 № 273. Документ введен в действие с 01.01.2022.

Утвержден руководителем Росгидромета 27 августа 2021 года

Введен в действие Приказом Росгидромета от 27 августа 2021 г. № 277

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЬДООБРАЗУЮЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОГРАДОВЫХ ИЗДЕЛИЙ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ И НА ЛАБОРАТОРНЫХ УСТАНОВКАХ

РД 52.37.914-2021

Дата введения 1 января 2022 года

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным учреждением «Высокогорный геофизический институт» (ФГБУ «ВГИ»), Федеральным государственным бюджетным учреждением «Научно-производственное объединение „Тайфун“ (ФГБУ „НПО „Тайфун“)) и Федеральным государственным бюджетным учреждением „Центральная аэрологическая обсерватория“ (ФГБУ „ЦАО“)

2 РАЗРАБОТЧИКИ: Б.М. Хучунаев, д-р физ.-мат. наук (руководитель разработки); С.О. Геккиева, канд. физ.-мат. наук (ответственный исполнитель); Х.-М.Х. Байсиев, канд. техн. наук; А.Х. Будаев (ФГБУ «ВГИ» - разделы 1, 2, 5, 6, 7, 8, приложения А, Б); В.Н. Иванов, канд. физ.-мат. наук; А.В. Савченко, канд. физ.-мат. наук; А.Г. Шилин, канд. физ.-мат. наук; Ю.А. Пузов, науч. сотр. (ФГБУ «НПО „Тайфун“ - разделы 1, 2, 3, 4, 7, 8, приложения А, Б); Б.Г. Данелян, канд. физ.-мат. наук; Е.В. Сосникова, канд. физ.-мат. наук (ФГБУ „ЦАО“ - разделы 1, 2, 5, 6, 7, 8, приложения А, Б)»

3 СОГЛАСОВАН:

- с Управлением государственной наблюдательной сети и научных исследований (УГСН) Росгидромета 23.08.2021;
- с Федеральным государственным бюджетным учреждением «Научно-производственное объединение „Тайфун“» письмом от 18.08.2020 № 01-30/1857»

4 УТВЕРЖДЕН руководителем Росгидромета 27.08.2021.

ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом Росгидромета от 27.08.2021 № 277

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН головной организацией по стандартизации Росгидромета ФГБУ «НПО „Тайфун“ 23.08.2021»

ОБОЗНАЧЕНИЕ РУКОВОДЯЩЕГО ДОКУМЕНТА РД 52.37.914-2021

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

7 СРОК ПЕРВОЙ ПРОВЕРКИ 2026 год

ПЕРИОДИЧНОСТЬ ПРОВЕРКИ 5 лет

1 Область применения

Настоящий руководящий документ устанавливает методы определения льдообразующей эффективности противогорадовых изделий (ПГИ) с выходом активных частиц более 107 с 1 г реагента в аэродинамической трубе и на лабораторных установках.

Настоящий руководящий документ предназначен для использования научно-исследовательскими учреждениями, военизированными службами активных воздействий и другими организациями Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), осуществляющими разработку, испытание и внедрение новых льдообразующих реагентов и пиротехнических составов.

2 Термины, определения и сокращения

2.1 В настоящем руководящем документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

2.1.1 активное воздействие на облако (туман); (АВ): Преднамеренное воздействие на облако (туман) с целью изменения естественного хода микрофизических и динамических процессов (рассеяния облаков или туманов, ускорения осадкообразования, увеличения осадков, предотвращения или прерывания градообразования и т.п.) (с учетом [1], подраздел 2.1, статья 1).

2.1.2 выход активных льдообразующих частиц: Число ледяных кристаллов, образующихся в облаке или тумане при данной температуре в расчете на единицу массы льдообразующего реагента (пиротехнического состава) (с учетом [1], подраздел 2.1, статья 11).

2.1.3 льдообразующая активность (эффективность) реагента: Способность частиц реагента образовывать в переохлажденном облаке (тумане) ледяные кристаллы, характеризуемая выходом активных частиц с 1 г реагента (с учетом [1], подраздел 2.1, статья 52).

2.1.4 льдообразующие ядра: Частицы искусственного аэрозоля, вызывающие образование ледяных частиц (кристаллов) в облаках и туманах при температуре ниже 0 °С (с учетом [1], подраздел 2.1, статья 51).

2.1.5 льдообразующий аэрозоль: Дисперсная система, состоящая из частиц льдообразующего вещества и несущего газ ([1], подраздел 2.1, статья 53).

2.1.6 льдообразующий реагент: Вещество, или смесь веществ, используемое в работах по активному воздействию на облака и туманы для создания в них ледяных кристаллов ([1], подраздел 2.1, статья 54).

2.1.7 норма расхода реагента: Количество реагента, которое вводится в облако за единицу времени или на единицу длины полета воздушного судна ([1], подраздел 2.1, статья 60).

2.1.8 перезасев: Существенное превышение оптимальной дозировки реагента, приводящее к снижению эффективности воздействия (с учетом [1], подраздел 2.2, статья 126).

2.1.9 пиротехнический состав для активного воздействия: Смесь пиротехнических компонентов и льдообразующего реагента, при горении которой образуется льдообразующий аэрозоль ([1], подраздел 2.3, статья 150).

2.1.10 температурный порог активности реагента: Максимальная температура, при которой в переохлажденном облаке (тумане) при введении льдообразующего реагента образуются ледяные кристаллы ([1], подраздел 2.1, статья 105).

2.1.11 засев облака (тумана): Введение в облако (туман) льдообразующего или гигроскопического реагента в диспергированном, гранулированном или в жидко-капельном

состоянии ([1], подраздел 2.1, статья 71).

2.1.12 технология засева: Совокупность мероприятий по засеву облака и тумана реагентами, приводящих к искусственному вызыванию или предотвращению осадков, изменению интенсивности осадков, предотвращению града, рассеянию тумана ([1], подраздел 2.1, статья 106).

2.1.13 зона искусственной кристаллизации: Объем облака или тумана, в котором наблюдается образование ледяных кристаллов после введения льдообразующих реагентов ([1], подраздел 2.1, статья 29).

2.1.14 критический размер активных частиц: Минимальный размер частиц льдообразующего реагента, при котором происходит образование ледяных кристаллов в переохлажденном облаке или тумане при данной температуре ([1], подраздел 2.1, статья 42).

2.1.15 ядра кристаллизации: Частицы атмосферного или искусственного аэрозоля, вызывающие образование ледяных частиц или кристаллов в облаках и туманах при отрицательной температуре ([1], подраздел 2.1, статья 116).

2.1.16 атмосферные явления: Визуально наблюдаемые в атмосфере явления ([1], подраздел 2.1, статья 5).

Примечание - К атмосферным явлениям относятся: туманы, осадки, гидрометеоры, оптические, электрические и динамические явления.

2.2 В настоящем руководящем документе введены и применены следующие сокращения:

- АСУ ТП — автоматизированная система управления технологическим процессом;
- ГАТ — горизонтальная аэродинамическая труба;
- ГЛА — генератор льдообразующего аэрозоля;
- ГЧ — головная часть ракеты;
- КЛС — камера лабораторного сжигания;
- КПП — камера пробоподготовки;
- КПТ — камера переохлажденного тумана;
- ПГИ — противогорадовое изделие;
- ПЧ — преобразователь частоты;
- поз. — позиция;
- ПВХ — поливинилхлорид;
- ПО — программное обеспечение;
- ЧРО — частотный регулятор оборотов;
- ШАД — шашка активного дыма;
- ЭД — электродвигатель;
- SCADA — (аббр. от англ. Supervisory Control and Data Acquisition), диспетчерское управление и сбор данных.

3 Метод определения льдообразующей эффективности ПГИ в аэродинамической трубе

3.1 Общее описание метода

3.1.1 Принцип определения эффективности льдообразующего реагента

Мерой эффективности льдообразующего реагента является количество активных частиц, полученных из единицы массы реагента (далее — выход), переведенного в аэрозоль тем или иным способом, в частности, сжиганием пиротехнического состава с льдообразующим веществом. Принцип измерения эффективности льдообразующего реагента состоит в определении числа ледяных кристаллов, образующихся при введении известного количества исследуемого реагента в виде аэрозоля в переохлажденный водный туман.

Туман создают в охлаждаемой облачной камере путем механического диспергирования воды при действии ультразвукового излучения. Исследуемый реагент (пиротехническую смесь

в компоновке генератора льдообразующего аэрозоля) переводят в аэрозольное состояние в соответствии с условиями проведения эксперимента. При этом может иметь место сжигание микронавески пиротехнического состава в камере пробоподготовки, сжигание полноразмерного генератора льдообразующего аэрозоля (ГЛА) в горизонтальной аэродинамической трубе (ГАТ). Отобранную пробу аэрозоля вводят в облачную камеру, на активных частицах которой образуются ледяные кристаллы. Кристаллы, оседающие на дне облачной камеры, попадают также на зеркальную поверхность в верхней части массивного термостата, размещенного на дне облачной камеры, с последующим их фотографированием с помощью цифрового оптического микроскопа. Полученные изображения обрабатываются при помощи программных средств или вручную для подсчета числа образовавшихся кристаллов.

3.1.2 Диапазон изменения определяемой величины выхода активных частиц

Минимальное и максимальное определяемые значения выхода активных частиц зависят от метода регистрации частиц, объема используемой аэрозольной камеры и допустимого (по средствам контроля) количества переводимого в аэрозоль реагента. В данном методе они составляют соответственно 107 и 1019 г-1.

Минимальное возможное значение выхода активных частиц составляет 107 г-1 – определяется техническими особенностями стенда на базе ГАТ. В качестве верхнего предела принимается теоретический выход активных частиц для наиболее активного льдообразующего реагента – йодистого серебра при температуре минус 25 °С, равный 1019 г-1.

3.1.3 Погрешность метода определения льдообразующей эффективности ПГИ в аэродинамической трубе

Погрешность метода определяется основной и дополнительной погрешностями. Основная погрешность метода складывается из систематической и случайной составляющих.

3.2 Технические данные стенда на базе ГАТ для определения льдообразующей эффективности ПГИ

Стенд на базе ГАТ позволяет моделировать полет ГЛА в атмосфере со скоростями от 3 до 100 м/с. Испытания ГЛА на величину выхода активных частиц производится в пределах температуры переохлажденного тумана от 0 °С до минус 25 °С. Определяемая величина выхода активных частиц лежит в диапазоне от 107 до 1019 г-1.

Исследованию на стенде могут подвергаться генераторы:

- а) пиротехнические;
- б) раздельной возгонки;
- в) с льдообразующим твердым топливом.

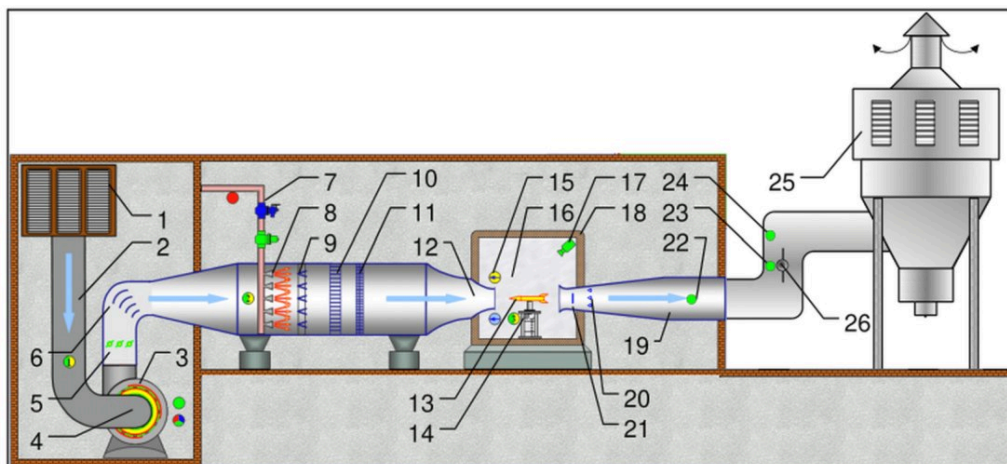
Габариты исследуемых генераторов: поперечный размер – диаметр не более 80 мм; длина не более 500 мм.

Выбрасываемый в атмосферу воздух, содержащий активный льдообразующий аэрозоль и продукты горения, очищается электрофильтрами со степенью очистки 95%. Средняя продолжительность одного цикла определения величины выхода составляет 2,5 ч. Максимальный расход электроэнергии на одно испытание равен 1140 кВт·ч.

3.3 Общее устройство и работа стенда на базе ГАТ

3.3.1 Устройство ГАТ

Схематическое устройство ГАТ приведено на рисунке 1. ГАТ служит для моделирования «полета» ГЛА в атмосфере. ГАТ принадлежит к незамкнутым аэродинамическим трубам прямого действия с открытой рабочей частью, заключенной в камеру Эйфеля. ГАТ включает в себя систему турбулизаторов, обеспечивающую равномерность потока в камере Эйфеля и перемешивание аэрозольного шлейфа перед системой пробоотбора, и электрофильтры.



1 – масляные фильтры; 2 – заборная шахта; 3 – направляющий аппарат; 4 – дымосос Д-20; 5 – дроссельная заслонка; 6 – поворотные лопатки; 7 – паровая магистраль; 8 – паровые форсунки; 9 – турбулизаторы ГАТ; 10 – хонейкомб; 11 – детурбулизующая сетка; 12 – сопло двойного поджата; 13 – ГЛА; 14 – координатник; 15 – блок датчиков температуры, влажности и скорости потока; 16 – рабочая часть ГАТ; 17 – видеокамера; 18 – камера Эйфеля; 19 – диффузор; 20 – решетка выравнивающих турбулизаторов; 21 – первичный турбулизатор потока; 22 – первая точка отбора пробы; 23 – вторая точка отбора пробы; 24 – третья точка отбора пробы; 25 – электрофильтры ДВП 2 x 20; 26 – заслонка

Рисунок 1 – Устройство ГАТ

При проведении испытаний ГЛА закрепляется в держателе, установленном в системе позиционирования (координатнике) позиция (поз.) 14 внутри металлической камеры Эйфеля поз. 18 в рабочей части ГАТ поз. 16.

Максимальная потребляемая мощность электродвигателя (ЭД) ГАТ – 400 кВт, скорость потока в рабочей части ГАТ может регулироваться как с помощью частотного регулятора оборотов (ЧРО), что значительно снижает потребляемую мощность, так и с помощью дроссельных заслонок поз. 5, в результате чего избыточная мощность ЭД расходуется на разогрев воздушного потока, что позволяет менять температуру и влажность потока в заданном программой испытаний диапазоне значений.

Электрофильтры поз. 25 служат для очистки воздуха, выбрасываемого из ГАТ в атмосферу. Потребляемая мощность 50 кВт.

Турбулизаторы поз. 9 служат для интенсивного перемешивания в диффузоре поз. 19 ГАТ аэрозольного шлейфа, образовавшегося за работающим ГЛА, для получения в месте отбора представительной пробы аэрозоля.

3.3.2 Система регулирования скорости воздушного потока ГАТ с помощью ЧРО ЭД
Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП), разработанная ЗАО НПО «Стройтехавтоматика», предназначена для операторов ГАТ, ведущих эксперимент. АСУ ТП реализуется при использовании программного обеспечения (ПО) класса (Supervisory Control and Data Acquisition) (SCADA). Система SCADA предназначена для сбора, архивирования, визуализации информации, выдачи управляющих команд, а также других родственных операций, характерных для SCADA. Информация, предоставляемая оператору, отсортирована по специфике данных и распределена по экранам SCADA.

В верхней части каждого экрана располагаются часы и индикатор связи системы SCADA с управляющим контроллером.

В нижней части располагаются кнопки переключения между экранами:

- «Главный экран» – переход на основной экран;
- «Тренды» – переход на экран трендов основных параметров системы;
- «Настройки» – переход на экран «Настройки»;

- «Архив событий» – переход на экран просмотра архива событий;
- «ПЧ» – переход на экран информации о преобразователе частоты.

Главный экран системы управления появляется сразу после запуска системы SCADA (рисунок 2). С этого экрана можно управлять процессом и наблюдать текущее состояние систем.



Рисунок 2 – Главный экран системы SCADA

Запуск и остановка ЭД осуществляется кнопками «Пуск» и «Стоп», расположенными на панели запуска и остановки ЭД (рисунок 3).

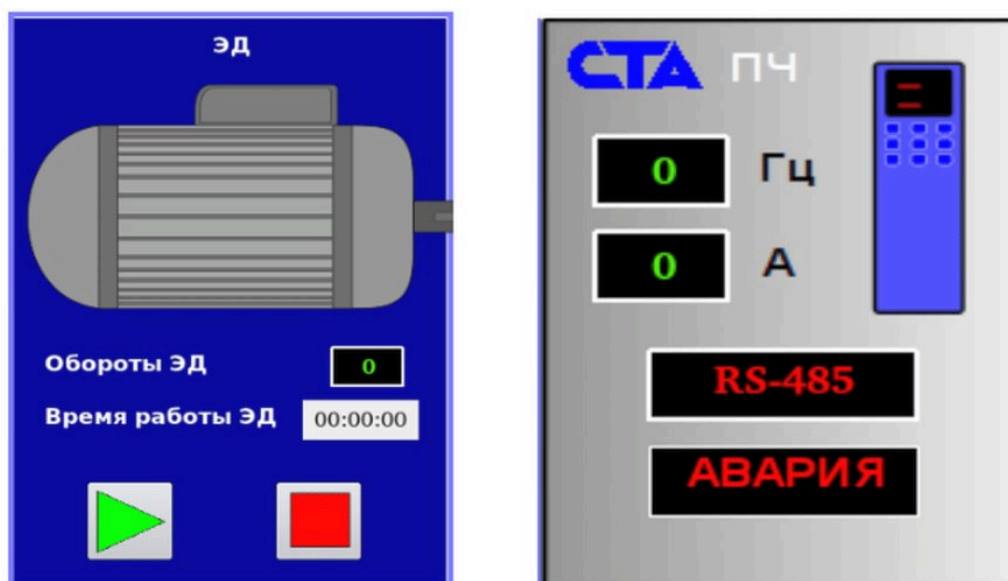


Рисунок 3 – ЭД и ПЧ

После нажатия кнопки «Пуск», если все параметры системы в норме, включатся вентиляторы охлаждения ЭД. Затем, через промежуток времени, установленный оператором, прозвучит предупредительная сирена и запустится ЭД, начнется отсчет времени работы. Обороты ЭД будут регулироваться в зависимости от задания скорости потока либо от прямого задания преобразователю частоты питающего напряжения (тока).

Текущий этап работы системы и разрешение на запуск показаны на панели, изображенной на рисунке 4. В поле «Время до след. шага» указывается, сколько осталось времени до перехода на следующий шаг (либо включение предупредительной сигнализации с последующим пуском ЭД, либо отключение вентиляторов охлаждения после остановки ЭД), кнопка «Пропустить» позволяет перейти на следующий шаг немедленно.

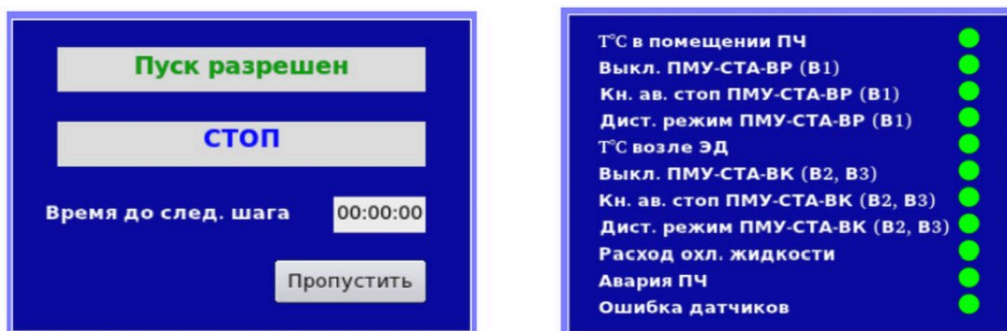


Рисунок 4 – Панель состояния системы и аварийных параметров

На панели аварийных параметров показано, какие из них удовлетворяют условиям работы, а какие нет. Если на панели горит надпись «Пуск запрещен», значит необходимо привести в норму параметры, помеченные красным цветом. Основные параметры, такие как выходная частота, Гц, и выходной ток, А, преобразователя частоты, отображаются на панели ПЧ, представленной на [рисунке 5](#). Если горит красная надпись «АВАРИЯ», это значит, что ПЧ в состоянии аварии, красная надпись «RS-485» означает, что нет связи ПЧ и контроллера по протоколу RS-485. RS-485 – стандарт физического уровня для асинхронного интерфейса, наиболее популярный интерфейс для промышленных сетей, широко используется множеством устройств в АСУ ТП.

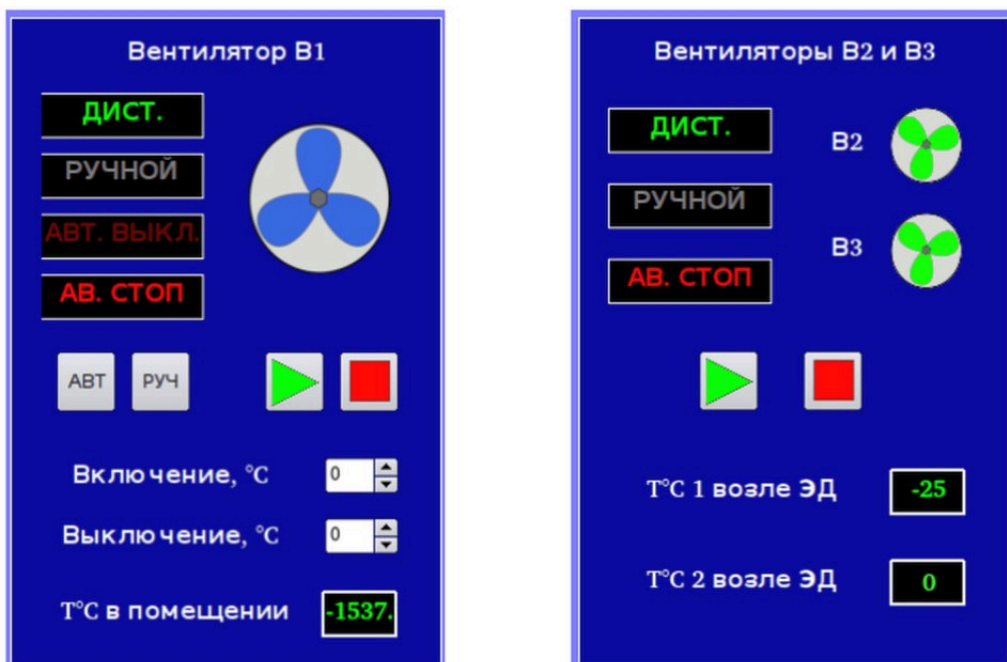


Рисунок 5 – Управление охлаждением ПЧ и ЭД

Система контролирует три вентилятора: вентилятор охлаждения ПЧ и два вентилятора охлаждения ЭД.

Охлаждение ПЧ может работать как в ручном, так и автоматическом режимах. Для перехода в ручной режим необходимо нажать кнопку «РУЧ», в автоматический – «АВТ». В ручном режиме включение и выключение вентилятора осуществляются кнопками «Пуск» и «Стоп». В автоматическом режиме включение и выключение происходят при достижении температуры в комнате с ПЧ заданных значений, т.е. при температуре, выше заданной в поле «Включение», вентилятор включится, при температуре, ниже заданной в поле «Выключение», вентилятор выключится.

Вентиляторы охлаждения двигателя включаются автоматически при начале испытания и выключаются через заданное время после окончания. При остановленном двигателе вентиляторы можно включать и выключать в ручном режиме.

Состояние вентиляторов описывают следующие элементы:

- индикатор вентилятора может принимать один из трех цветов: синий — в состоянии останова, зеленый — в рабочем состоянии и красный — при аварии;
- индикатор местного и дистанционного режимов;
- индикатор ручного и автоматического режимов;
- индикатор автоматического выключателя;
- индикатор кнопки аварийного останова.

Задание скорости потока и частоты ПЧ осуществляется в автоматическом и ручном режимах поддержания скорости потока. В автоматическом режиме система сама регулирует частоту ПЧ, исходя из задания скорости потока. В ручном режиме оператор может задавать непосредственно частоту ПЧ. Переключение между режимами управления ПЧ осуществляется на панели режимов ПЧ кнопками «АВТ» и «РУЧ». В ручном режиме задание частоты следует вводить в соответствующее поле ниже кнопки «АВТ». Для задания скорости необходимо перейти в автоматический режим и нажать на поле «Задание, м/с» на панели задания скорости потока в соответствии с [рисунком 6](#) и в появившемся диалоговом окне ввести желаемое значение.



Рисунок 6 — Панель задания скорости потока

На панели скорости потока показаны текущие показатели скорости потока по показаниям термоанемометра, разность давлений по показаниям дифференциального манометра (далее — дифманометр) и расчетная скорость потока, исходя из разности давлений. Два индикатора справа от показаний термоанемометра сигнализируют о положении термоанемометра, если горит верхний, то положение в зоне потока, если нижний, то вне зоны, если оба индикатора не горят, то термоанемометр находится в промежуточном положении.

Экран «Тренды» системы управления представлен на [рисунке 7](#), позволяет просматривать основные параметры процесса испытаний в режиме реального времени и архивных данных. На экране демонстрируются линии трендов параметров процесса испытаний с течением времени.

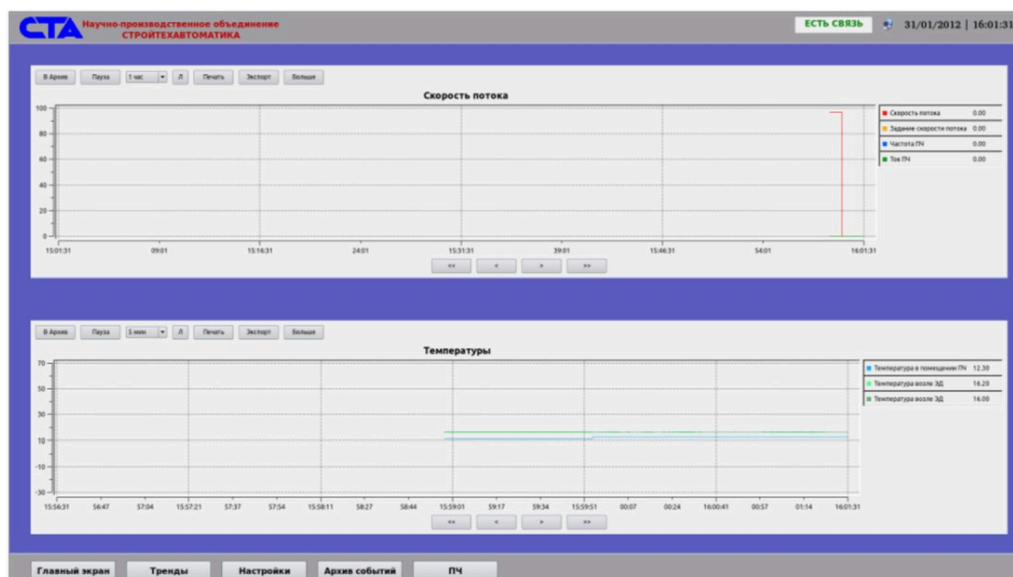


Рисунок 7 – Экран «Тренды»

В реальном времени отображаются текущие данные. В верхней части экрана «Тренды» расположены кнопки управления выборкой данных. Слева направо:

- «В архив» – перевод тренда в режим работы с архивными данными;
- «Пауза» – остановить изменение тренда по времени;
- Меню выбора видимого отрезка по оси времени, можно выбрать: 60 с; 5 и 30 мин; 1, 3, 8 и 24 ч;
- «Л» – включить/выключить легенду (в правой части экрана «Тренды»);
- «Print» – вывод на печать текущего состояния тренда (то, что на экране);
- «Export» – сохранение текущего состояния тренда в файл формата SVG;
- «More» – дополнительные настройки отображения тренда.

Кнопки «<<<», «<>», «>>>», расположенные в нижней части тренда, предназначены для перемещения по оси времени. В легенде отображаются виды начертания графиков, их цвета и мгновенные значения. Нажав на обозначение вид графика, можно отключить или включить отображение его на экране монитора.

В отличие от режима реального времени, в режиме работы с архивами данные берутся из базы данных. Для задания периода выборки в верхней части тренда есть кнопки «Выбрать» и два поля ввода даты и времени. После нажатия кнопки «Выбрать» из базы данных выборка осуществляется за период между временами, заданными в полях «От» и «До». В остальном работа в режиме архивных данных аналогична работе с данными реального времени.

На экране системы управления «Настройки», показанном на рисунке 8, расположены формы для задания параметров системы.



Рисунок 8 — Экран «Настройки»

Регулирование скорости воздушного потока производится путем изменения оборотов ЭД с помощью пропорционально-интегрально-дифференцирующего регулятора. Для корректной работы необходимо задать пять параметров:

- пропорциональный коэффициент;
- интегральный коэффициент;
- дифференциальный коэффициент;
- минимальную частоту вращения ЭД;
- максимальную частоту вращения ЭД.

Тестовый режим предназначен для отладки оборудования и проверки каналов связи. Для входа в тестовый режим необходимо нажать кнопку «Вкл», при этом рядом с кнопкой лампочка должна стать ярко-зеленой. После этого можно включать и выключать ПЧ, вентиляторы и сигнализацию включения ЭД, а также задавать частоту вращения ЭД. Для выхода из тестового режима нажмите кнопку «Выкл», лампочка должна стать серой.

ВНИМАНИЕ. В ТЕСТОВОМ РЕЖИМЕ БЛОКИРОВКИ ОТКЛЮЧЕНЫ!

Аварийные уровни определяют уставки, при достижении которых будет автоматически отключаться ЭД.

Уставки времени:

- время работы вентиляторов перед включением ЭД — интервал времени между командой на запуск испытания и на включение ЭД;
- время работы вентиляторов после отключения ЭД — интервал времени между остановом ЭД и выключением вентиляторов охлаждения.

Прочее:

- максимальная разность скоростей потока для термоанемометра — это максимальная разность скоростей между показаниями дифманометра и термоанемометра. При превышении этого значения верными будут считаться показания дифманометра;
- минимальная разность скоростей потока для дифманометра — минимальная разность скоростей между показаниями дифманометра и термоанемометра. Если разность меньше этого значения, то верными будут считаться показания термоанемометра.

На экране системы управления «Архив событий» в соответствии с [рисунком 9](#) показаны аварийные и предупредительные сообщения, действия оператора.

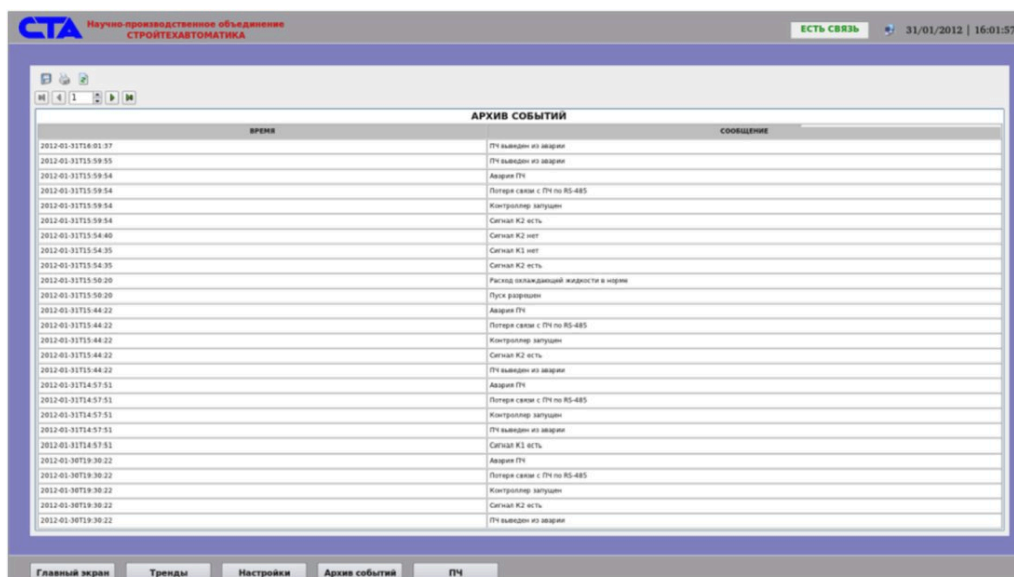


Рисунок 9 – Экран «Архив событий»

В верхней части экрана располагаются элементы навигации и управления отчетом:

- кнопка «Обновить» обновляет содержимое отчета;
- кнопка «Печать» позволяет распечатать отчет на принтере или сохранить на диске как документ PDF;
- кнопка «Сохранить» сохраняет отчет в HTML-файл;
- элементы навигации по отчетам.

Экран системы управления «ПЧ», представленный на рисунке 10, предназначен для мониторинга состояния ПЧ.

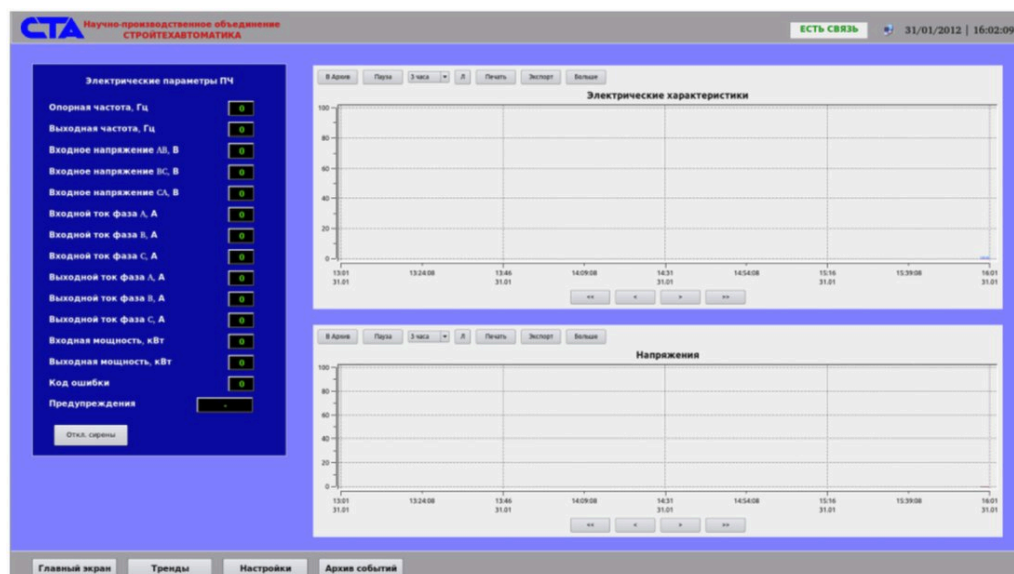


Рисунок 10 – Экран «ПЧ»

3.3.3 Система регулирования скорости воздушного потока ГАТ с помощью дроссельных заслонок

Для регулирования скорости воздушного потока в ГАТ, помимо изменений параметров ПЧ, применяются также дроссельные заслонки. Дроссельные заслонки применяются для установления малых скоростей, до 15 м/с, а также для сброса скорости без отключения ЭД ГАТ. Степень открытия заслонок влияет на усиление воздушного потока в камере. Заслонки приводятся в движение с помощью ЭД. Заслонки установлены на двух уровнях ГАТ, «нижнем» и «верхнем». Нижние используются для грубого регулирования скорости, верхние для более

точного. Управление заслонками производится с пульта управления, находящегося рядом с автоматизированным рабочим местом оператора.

3.3.4 Система поджига ГЛА

Система служит для подачи импульса тока на электровоспламенитель ГЛА. Система состоит из блока питания, кнопки «Пуск» и соединительных проводов. Максимальный выходной ток блока питания достигает 5 А при напряжении 24 В, время импульса тока 0,5 с. Система имеет блокировку, препятствующую случайной подаче импульса напряжения, при незакрытой двери камеры Эйфеля.

После воспламенения от электровоспламенителя пиротехнического состава ГЛА процесс горения состава происходит самостоятельно. При этом льдообразующее вещество вначале возгоняется и совместно с высокотемпературным газовым потоком выносятся из корпуса ГЛА через профилированную систему сопел, а затем конденсируется, образуя высокодисперсный аэрозоль.

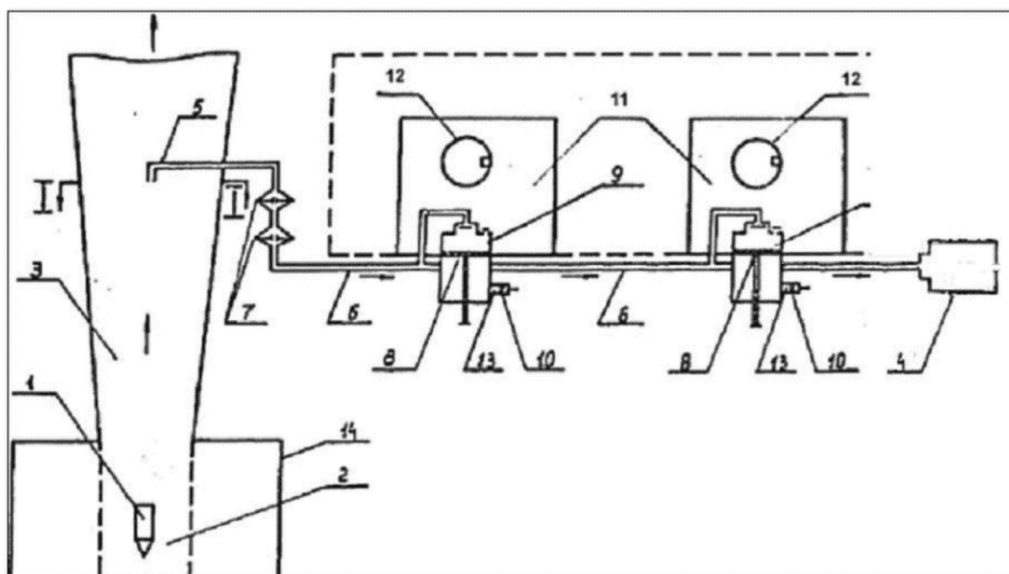
3.3.5 Система видеорегистрации

Поскольку обнаружена весьма значительная зависимость определяемой льдообразующей активности ГЛА от его режима горения, необходимо проводить видеорегистрацию процесса испытания с использованием видеокамеры высокого разрешения.

Так, льдообразующая активность аэрозоля головной части (ГЧ) ракеты «Алазань» изменяется на два и более порядков величины в зависимости от стадии горения: от 8×10^{12} до 10^{10} активных частиц с грамма состава при минус 10 °С. Поскольку изменение льдообразующей активности при изменении режима горения даже при минус 10 °С составляет около двух порядков величины (в более теплой зоне может значительно превышать эту цифру), видеоинформация о режиме горения в случае подозрений на неустойчивость последнего, а также получение значительного расхождения данных по льдообразующей активности могут служить индикатором необходимости проведения большего объема испытаний.

3.3.6 Система отбора и разбавления аэрозоля

Система служит для отбора и разбавления пробы аэрозоля из диффузора ГЛА и при необходимости ее последующего разбавления чистым воздухом как показано на рисунке 11. Система состоит из заборной трубки, воздушных магистралей, расходомеров, регулировочных кранов, воздуходувки и др.



1 – генератор аэрозоля; 2 – рабочая часть трубы; 3 – диффузор; 4 – воздуходувка; 5 – заборный патрубок; 6 – магистраль; 7 – фильтры-разбавители аэрозоля с расходомерами; 8 – поршень; 9 – заборная камера; 10 – поршень; 11 – камера переохлажденного тумана (облачная камера); 12 – термостат; 13 – дозирующее устройство в случае работы с малыми объемами; 14 – камера Эйфеля

Рисунок 11 — Схема аппаратуры для отбора и разбавления пробы аэрозоля

Г-образный заборный патрубок поз. 5 расположен в центре сечения диффузора ГАТ, направлен входным отверстием навстречу воздушному потоку и установлен на расстоянии 7 м от начала диффузора.

В качестве расходомеров, измеряющих скорость засасываемой из тракта ГАТ воздушной среды и скорость потока разбавляющего воздуха (в случае, если производится разбавление), используются ротаметры типа РМФ-2 на 30 и 100 дм³/мин.

Для учета степени разбавления аэрозоля вводится коэффициент разбавления пробы К.

При работе без разбавления аэрозоля ($K = 1$) весь аэрозоль из тракта ГАТ проходит через систему пробоотбора. Краны расходомеров закрыты, аэрозоль вводится непосредственно из тракта ГАТ. При этом аэрозоль, отобранный через заборный патрубок, просасывается с помощью воздухоудвки через магистраль поз. 6, в систему дозирования аэрозоля в облачные камеры и выбрасывается по магистрали в ГАТ.

При работе с разбавлением аэрозоля ($K > 1$) краны расходомеров устанавливаются в такое положение, чтобы основной поток воздуха из ГАТ проходил через систему пробоотбора. В фильтрах-разбавителях поз. 7 происходит смешение аэрозоля и чистого воздуха. Величины объемных расходов аэрозоля и воздуха, поступающих в эту камеру, регулируются с помощью кранов и расходомеров.

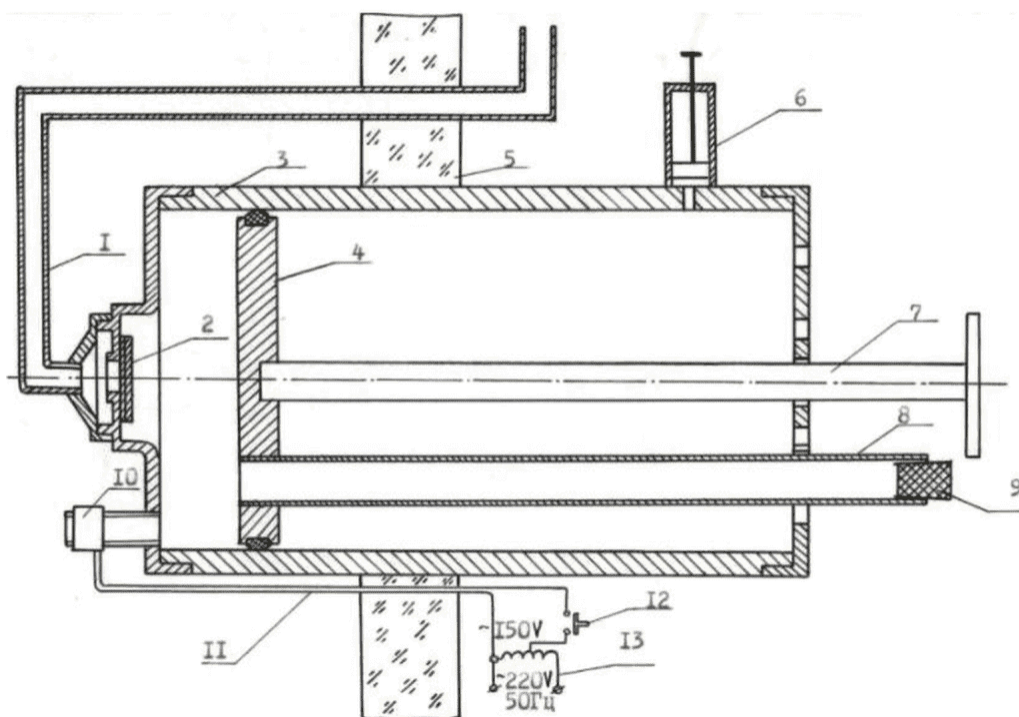
Разбавленный аэрозоль проходит по основной магистрали. Из основной магистрали в заданный момент времени работы аэрозольного генератора аэрозоль через подводящие магистрали отбирается в заборные камеры.

3.3.7 Камера дозирования аэрозоля

После перемешивания потока в диффузоре ГАТ, а также на специально расположенных турбулизаторах, аэрозоль отбирается в облачную камеру.

При работе стенда в течение времени горения состава с помощью воздухоудвки через заборный патрубок поз. 5 в соответствии с **рисунком 11** производится непрерывный отбор пробы в камеру переохлажденного тумана (КПТ, далее — облачную камеру), поскольку в месте отбора проб концентрация активных частиц очень высока, аэрозоль разбавляется с помощью фильтров-разбавителей поз. 7, размещенных перед облачной камерой. Из магистрали поз. 6 разбавленный аэрозоль вручную отбирается в заборные камеры (камеры дозирования) поз. 9 емкостью 2 л.

Заборная камера, представленная на **рисунке 12**, служит для отбора аэрозоля из основной магистрали и для последующего ввода пробы аэрозоля заданного объема в облачную камеру.



1 — подводящая магистраль; 2 — входной лепестковый клапан; 3 — корпус; 4 — поршень; 5 — дверца камеры переохлажденного тумана; 6 — малое дозирующее устройство; 7 — шток поршня; 8 — трубка отсоса; 9 — заглушка; 10 — электромагнитный клапан; 11 — соединительные провода; 12 — кнопка открытия электромагнитного клапана; 13 — трансформатор

Рисунок 12 — Заборная камера

Заборная камера состоит из корпуса поз. 3, входного лепесткового поз. 2 и выходного электромагнитного поз. 10 клапанов, поршня поз. 4 со штоком поз. 7, трубки отсоса поз. 8 с заглушкой поз. 9 и малого дозирующего устройства поз. 6 объемом 23 см³. Внутренний объем заборной камеры 2000 см³.

При движении поршня из левого исходного положения в правое открывается входной лепестковый клапан, и через заборную магистраль поз. 1 из основной магистрали аэрозоль поступает во внутренний объем заборной камеры.

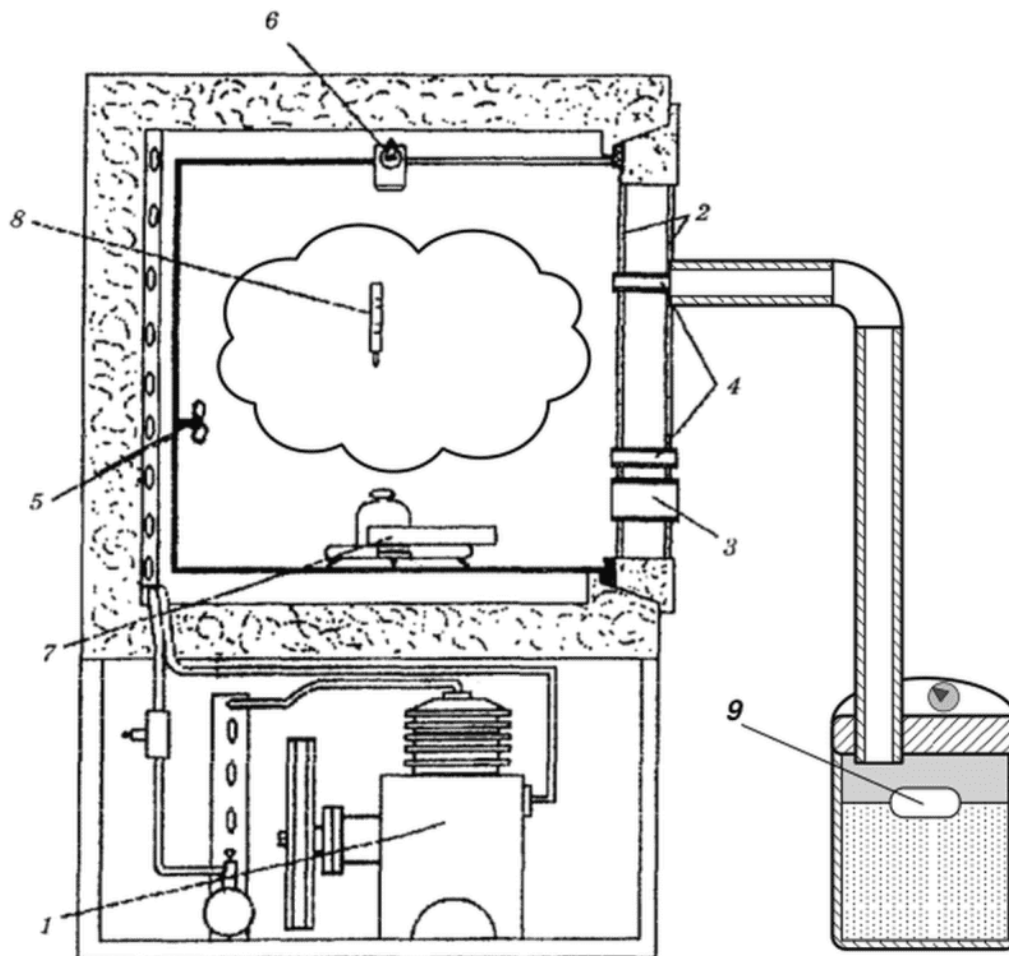
Если требуется ввести в КПТ 23 см³ пробы, то вначале производится отбор пробы в заборную камеру путем поднятия поршня малого дозирующего устройства из нижнего исходного положения в верхнее. Затем включается нажатием кнопки поз. 12 электромагнитный клапан, при этом внутренний объем заборной камеры соединяется с КПТ, при перемещении рукой поршня малого дозирующего устройства вниз аэрозоль заданного объема поступает в камеру переохлажденного тумана. После этого кнопка поз. 12 отпускается.

Если требуется ввести в КПТ 100 см³ пробы или больше, то малое дозирующее устройство не используется. Включается нажатием кнопки электромагнитный клапан и перемещением влево поршня поз. 4 вводится заданный объем аэрозоля, используя калиброванные риски, нанесенные на шток поршня. После этого кнопка отпускается.

В заборной камере после отбора пробы аэрозоля и ввода заданного объема аэрозоля в КПТ может оставаться аэрозоль. Чтобы подготовиться к следующему циклу исследования, этот аэрозоль необходимо отсосать через трубку поз. 8. Для этого к трубке отсоса подсоединяется резиновый шланг, подсоединенный к основной магистрали, включается воздушная подушка, и заглушается резиновой пробкой подводящая магистраль. По мере отсоса аэрозоля из заборной камеры ее поршень перемещается влево в исходное положение.

Таким образом, из заборной камеры в рабочий объем облачной камеры в соответствии с рисунком 13 вводится контролируемое количество аэрозоля объемом до 2,0 л. Образовавшиеся кристаллы оседают на стекло термостата поз. 7, представленного на рисунке

13, установленного в зоне пробоотбора. После окончания процесса осаждения кристаллов термостат извлекается, и полученные кристаллы фотографируются с использованием цифрового микроскопа или его аналогов с последующим их программным или ручным подсчетом.



1 – холодильный агрегат; 2 – двойное окно; 3, 4 – трубки; 5 – вентилятор; 6 – осветительное устройство; 7 – термостат; 8 – ртутный термометр; 9 – генератор тумана

Рисунок 13 – Разрез облачной камеры

По числу подсчитанных кристаллов, выпавших на единице площади термостата, можно судить об эффективности выхода активных ядер с одного грамма вещества. Расчет величины выхода № активных ядер производится по формуле

$$N = \frac{S_{\text{обл.кам}} S_{\text{ГАТ}} V_{\text{ГАТ}} T_{\text{ген}}}{S_{\text{микр}} w_{\text{пробы}} m_{\text{ген}}} \sum_i^0 N_{0i},$$

(1)

где $S_{\text{обл.кам}}$ – площадь пола облачной камеры, м²;

$S_{\text{ГАТ}}$ – площадь сечения рабочей части аэродинамической трубы, м²;

$v_{\text{ГАТ}}$ – скорость воздушного потока в рабочей части аэродинамической трубы, м/с;

$T_{\text{ген}}$ – время горения генератора аэрозоля, с;

смир — площадь поля зрения микроскопа, м²;

wпробы — объем пробы аэрозоля, введенный в камеру переохлажденного тумана, м³;

mген — масса генератора аэрозоля, г;

N_{0i} — среднее число кристаллов в поле зрения микроскопа, подсчитанное после i-го пуска пара.

3.3.8 Камера переохлажденного тумана

Облачная камера служит для создания переохлажденного тумана, в котором введенный аэрозоль проявляет свою льдообразующую активность. Ее устройство показано на рисунке 13.

Облачная камера представляет собой климатическую камеру типа «Feutron 3001-01» с размерами рабочего объема 0,242 м³. Холодильный агрегат поз. 1 облачной камеры позволяет охлаждать рабочий объем от комнатной температуры до минус 25 °С за 4 ч.

Одна из двух дверок на передней панели шкафа заменена двойным окном из органического стекла поз. 2, оборудованным коммуникациями для ввода пробы (заборной камерой).

Широкая трубка поз. 3 диаметром 100 мм предназначена для введения проб аэрозолей и выполнения ручных операций в рабочем объеме. Две узкие трубки поз. 4 диаметром 23 мм могут быть использованы для смены воздуха в рабочем объеме и других целей.

Внутренние стенки рабочего объема облачной камеры сделаны из нержавеющей стали. На одной из боковых стенок укреплен вентилятор поз. 5 для перемешивания воздуха и выравнивания концентрации частиц. Выключатели вентиляторов и осветительного устройства выведены на переднюю панель камеры.

В верхней части облачной камеры укреплено осветительное устройство поз. 6, дающее параллельный пучок света для визуального наблюдения за процессом образования тумана и изменением его фазового состояния. В качестве такого устройства использован микроскопный осветитель «ОИ-21».

Для улавливания образующихся ледяных кристаллов на дне облачной камеры установлены термостаты для осаждения на них кристаллов поз. 7. После осаждения кристаллов термостаты извлекаются из облачной камеры для подсчета количества кристаллов под цифровым микроскопом. Фотографирование кристаллов необходимо произвести в течение одной минуты после извлечения термостата из облачной камеры, во избежание таяния кристаллов при комнатной температуре.

Для измерения температуры в центре облачной камеры укреплен ртутный термометр поз. 8 с диапазоном измеряемой температуры от минус 30 °С до плюс 50 °С и ценой деления 0,2 °С.

Генератор тумана поз. 9 предназначен для создания в облачной камере тумана, представляет собой ультразвуковой увлажнитель «FanLine VE-180» мощностью 150 Вт.

3.3.9 Камера пробоподготовки

Камера пробоподготовки (КПП) ГАТ представляет собой изотермический бокс объемом 11,65 м³. Она предназначена для сжигания фрагментов пиротехнических генераторов льдообразующего аэрозоля, входящих в состав ГЧ ракет типа «Алазань», и отбора проб из ГАТ. КПП имеет в передней стенке одностворчатое наблюдательное окно размером 60 x 80 (ш x в) см, с однокамерным стеклопакетом. В стенке имеется дверца для введения в КПП устройства для получения аэрозолей и небольшой люк, через который с помощью шприца отбираются пробы аэрозоля для исследования в облачной камере. Выключатель светильников находится снаружи в шкафу для электроавтоматики и органов управления КПП.

На левой стене КПП установлена утепленная герметичная дверь типа Дус 1,25 x 0,5, предназначенная для входа в камеру при необходимости обслуживания или ремонта внутреннего оборудования и приборов. Для улучшения теплоизоляции дверь дополнительно оклеена изнутри слоем теплоизоляции из вспененного полиэтилена типа «Теплофлекс» толщиной 20 мм.

КПП снабжена системой воздухопроводов для ввода в нее заданного объема тестируемого аэрозоля, имеется вентилятор для выравнивания концентрации частиц. КПП также снабжена

воздухоохладителем типа F35HC 69 E7 (0,9 x 0,5 x 0,5) м с холодопроизводительностью 5,3 кВт, датчиками температуры и влажности типа SHT75 (RH&T) и аэрозольным счетчиком. Для очистки КПП от аэрозоля предусмотрен вентилятор, подсоединенный к вытяжной вентиляции и обеспечивающий очистку камеры за время не более 30 мин.

Для формирования и поддержания внутри объема КПП однородного распределения необходимой температуры и влажности в нижней части камеры для перемешивания среды установлен внутренний вентилятор типа Systemair KV 250L с трубной насадкой на выходное сопло. Вентилятор устанавливается на раме с регулируемой высотой для получения нужного расстояния между заборным устройством и полом, и правильной организации внутренней аэродинамики камеры с целью устранения застойных зон и уменьшения осаждения аэрозоля на элементах конструкции КПП. Для установления необходимой скорости внутренних воздушных потоков вентилятор снабжен бесступенчатым регулятором скорости.

Для поддержания внутри КПП необходимой температуры в верхней части камеры пробоподготовки установлен фреоновый воздухоохладитель. Воздухоохладитель имеет встроенный вентилятор, прокачивающий воздух камеры через теплообменник для поддержания заданной температуры в камере. Измерения температуры и влажности в аэрозольной камере производятся цифровыми датчиками температуры и влажности SHT75 (RH&T). В соответствии с условиями эксперимента температура и влажность устанавливаются соответствующей требуемым параметрам либо в месте расположения генератора в ГАТ, либо в облачной камере.

При проведении испытаний важное значение имеет контроль относительной влажности в зоне горения ГЛА (ГАТ, КПП и др.). Так, на **рисунке 14** представлено изменение льдообразующей активности двух разных пиротехнических составов (АД-1 и 2%-ного экспериментального состава при минус 10 °С) в зависимости от относительной влажности среды при предварительной выдержке аэрозоля в КПП в среде с контролируемой влажностью 20%, 50% и 80%.

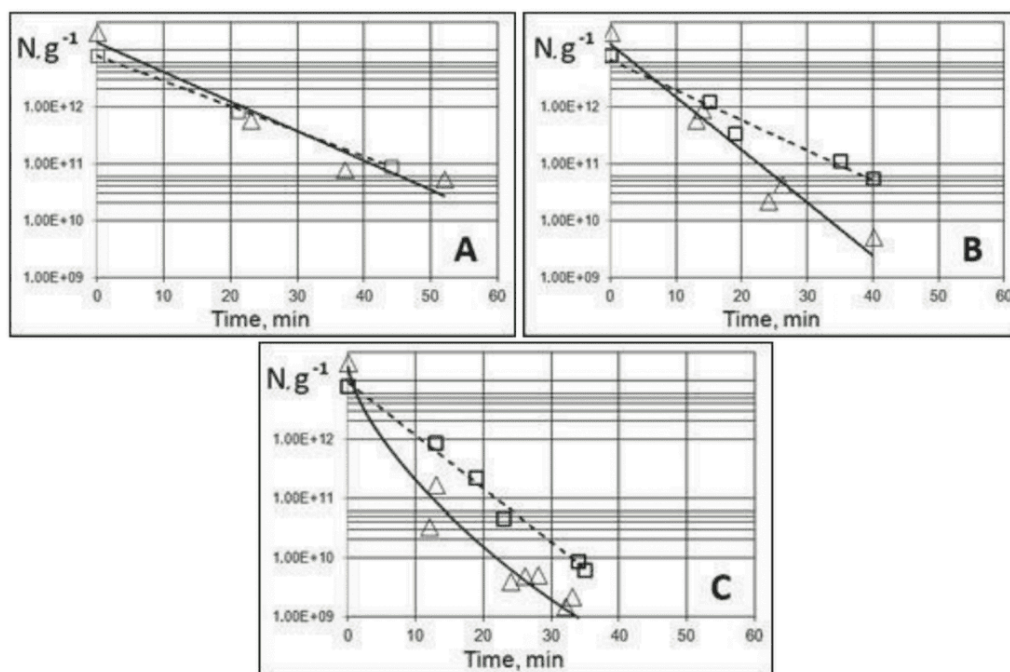


Рисунок 14 – Изменение льдообразующей активности составов АД-1 (треугольники) и 2%-ного экспериментального состава (квадратики) в зависимости от относительной влажности (А – 20%, В – 50% и С – 80%) при минус 10 °С

Экстраполирование скорости падения льдообразующей активности на 100%-ную относительную влажность позволяет предположить, что падение активности на порядок величины может произойти за несколько минут (в зависимости от состава аэрозольной частицы). Таким образом, во-первых, информация о влажности в тракте ГАТ на момент

проведения эксперимента должна приводиться в отчете вместе со значениями определяемой льдообразующей активности, а во-вторых, при проведении измерений следует стремиться к максимальному соответствию условий проведения измерения условиям функционирования ГЛА в реальной ситуации проведения воздействия.

Измерение температуры и влажности производится цифровыми датчиками температуры и влажности SHT75 (RH&T). Диапазон измеряемых температур – от 125 °C до минус 40 °C. Погрешность измерения температуры представлена на рисунке 15.

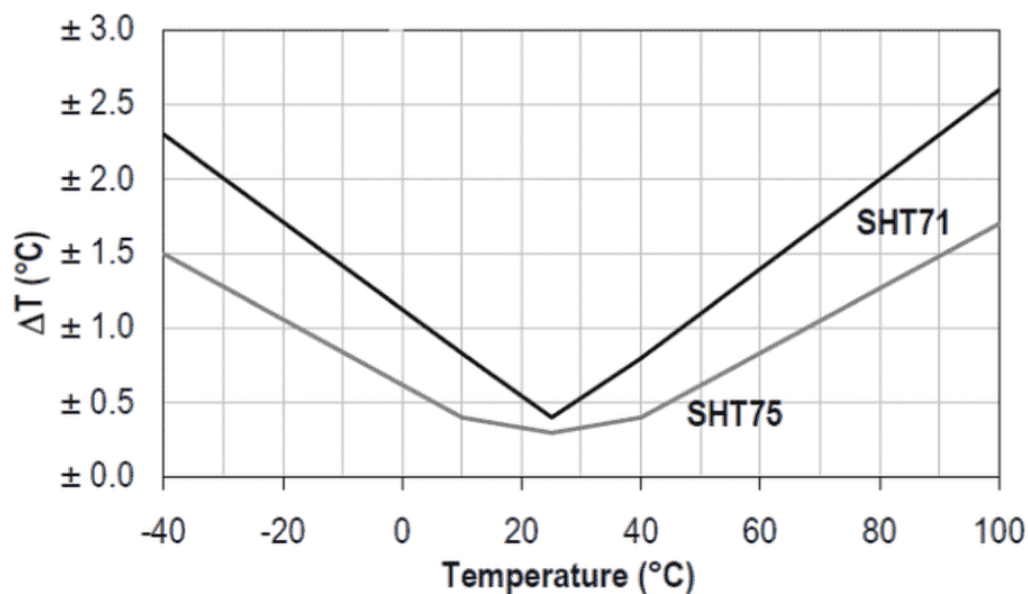


Рисунок 15 – Погрешность измерения температуры

Диапазон измерений относительной влажности – от 0% до 100%. Погрешность измерения относительной влажности представлена на рисунке 16.

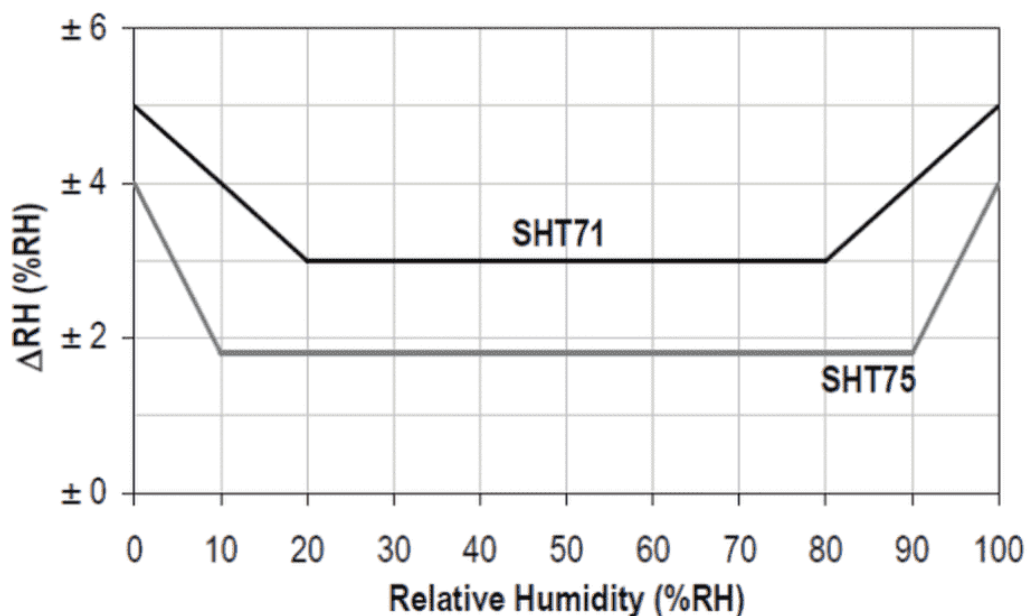


Рисунок 16 – Погрешность измерения относительной влажности

Аналогичная система датчиков температуры и влажности входит в блок датчиков температуры, влажности и скорости потока в ГАТ. Блоки датчиков расположены:

- в заборной шахте до дымососа Д-20;
- в тракте трубы до турбулизаторов;
- в камере Эйфеля.

С целью более эффективного контроля состояния аэрозоля в камере пробоподготовки оборудование стенда оснащено системой контроля дисперсности аэрозольных частиц на основе спектрометра TSI 3080. Система представляет собой пневматическую линию, заканчивающуюся откачивающей помпой, создающей равномерный поток аэрозоля из камеры пробоподготовки, к которой подключено заборное устройство TSI 3080.

Проба аэрозоля из потока отбирается в КПП при контроле функции распределения по размерам частиц, образованных генераторами в потоке ГАТ. В КПП расположено оборудование для поддержания и контроля определенной влажности, а также возможность воздействовать на аэрозоль имитатором солнечного излучения с целью определения сохранения льдообразующей эффективности активного аэрозоля при воздействии УФ-радиации. При этом во время всего цикла испытаний возможен непрерывный мониторинг состояния аэрозоля в КПП.

Спектр аэрозоля со временем претерпевает изменения (меняются размеры частиц вследствие коагуляции, седиментации). Корректные определения льдообразующей активности аэрозоля возможны только при сопоставлении льдообразующей активности и спектра аэрозоля, полученного на момент проведения испытаний.

В КПП используется система отбора проб аэрозоля и дозирования. Для создания и ввода в КПП заданного потока тестируемого аэрозоля служит вентиляционно-вытяжная система КПП: вытяжной вентилятор, установленный на сварной раме и закрепленный на внешней стороне стены аэрозольного корпуса, воздуховоды, специальные насадки на воздуховод для создания воздушного потока заданных параметров.

Для улучшения аэродинамики вентилятора на его выходной фланец устанавливается отрезок воздуховода длиной, соответствующей примерно трем диаметрам $D_{\text{вых}}$ вентилятора. Производительность вытяжного вентилятора и параметры потока тестируемого аэрозоля регулируются сменой насадок на воздуховод и ЧРО ЭД, установленного на передней стенке справа от шкафа для электроавтоматики.

Основной вытяжной воздуховод диаметром 315 мм начинается у передней стенки КПП под наблюдательным окном, имеет горизонтальный участок длиной около 150 см, поворачивает вертикально вверх и поднимается выше уровня перекрытия КПП до высоты примерно 470 – 480 см, поворачивает горизонтально над перекрытием КПП и приблизительно через 250 см стыкуется с вытяжным вентилятором.

Над перекрытием КПП основной вытяжной воздуховод имеет тройник для стыковки с отсечным клапаном и воздуховодом вентиляции КПП. Основной вытяжной воздуховод выполняется из оцинкованной вентиляционной трубы с фланцевым соединением, толщиной стенки 0,5 мм, длиной вместе с отводами примерно 10 м. Нижний горизонтальный участок воздуховода крепится к полу на специальных опорных стойках из стальной трубы.

На стенке КПП установлена циркуляционная система для отбора подготовленной пробы аэрозоля введенного реагента для испытания его в облачных камерах. Система для отбора пробы представляет собой трубу из поливинилхлорида (ПВХ) диаметром 110 мм, установленную вертикально на внешней стороне камеры и соединенную с внутренним объемом камеры через ПВХ-угольники (90°, диаметром 110 мм). Внутри КПП нижний вывод трубы выходит из стены не менее чем на 200 мм. На верхнем конце внутренней части трубы установлен отсасывающий осевой вентилятор, организующий внутри ПВХ трубы, установленной на внешней поверхности камеры, стабильный, близкий к ламинарному поток воздуха из внутреннего объема КПП. При проведении испытаний через отверстие во внешней части ПВХ трубы отбираются пробы постоянно обновляющейся внутренней среды КПП, не вскрывая камеру и не нарушая стабильность ее внутренней среды.

Специальные съемные насадки на входную часть основного вытяжного воздуховода предназначены для формирования воздушного потока с механическими и динамическими параметрами, необходимыми для получения и введения в КПП тестируемого аэрозоля. Насадки представляют собой отрезки оцинкованной вентиляционной трубы диаметром 315 мм, 200 мм и 150 мм. Отрезки трубы диаметром 200 мм и 150 мм с обоих концов имеют конические

переходы длиной 200 мм на диаметр 315 мм. Все три съемные насадки имеют на концах фланцы для соединения с основным вытяжным воздуховодом. Длина всех съемных насадок на входную часть вытяжного воздуховода составляет 650 мм (для насадок с переходами 200 + 250 + 200 мм). Для перекрытия потока основного вытяжного воздуховода служит цилиндрическая крышка-заглушка диаметром 315 мм из оцинкованной стали, надевающаяся на торец вытяжного воздуховода.

Для прямой вентиляции КПП имеет встроенные в стены вентиляционные каналы. Входной канал расположен внизу в левом переднем углу камеры и представляет собой отверстие в стенке камеры диаметром 200 мм. Канал имеет теплоизолированную крышку-заглушку диаметром 200 мм из многослойного пенополиэтилена толщиной не менее 50 мм, на крышку-заглушку наклеена текстолитовая пластина диаметром 240 мм и толщиной 3 мм. Выходная труба воздуховода вентиляции КПП встроена в потолок камеры и соединяется с общей системой вентиляции и вытяжки. Труба воздуховода выполнена из оцинкованной вентиляционной трубы диаметром 250 мм с фланцевым соединением, толщина стенки не менее 0,5 мм. Для изоляции внутреннего объема КПП от внешней среды во время испытания реагентов служит отсечной клапан. В качестве отсечного клапана используется специальный противопожарный огнезадерживающий клапан, обеспечивающий достаточную степень герметичности и теплоизоляции внутреннего объема КПП от вентиляционных каналов. На участке от крыши КПП до теплоизолированного отсечного клапана (включая сам клапан), выходная труба покрыта теплоизоляцией типа «Теплофлекс». Общая длина вентиляционного воздуховода КПП вместе с отводами, отсечным клапаном и тройником составляет примерно 1,3 м.

3.3.10 Система управления стендом КПП

Внизу в правом переднем углу КПП установлен блок кабельных гермовводов. Он представляет собой отверстие в стенке камеры диаметром 200 мм, края отверстия оклеены пластиком и обработаны герметиком для защиты теплоизоляционного слоя от влаги. В отверстие вставлена теплоизолирующая заглушка диаметром 200 мм из многослойного пенополиэтилена, с внешней стороны на заглушку наклеена текстолитовая пластина диаметром 240 мм и толщиной 3 мм с установленными на ней кабельными гермовводами. В пенополиэтилене заглушки напротив гермовводов просверлены отверстия для прохода проводов и кабелей. Выходящие из блока гермовводов провода и кабели зафиксированы и распределены внутри КПП с помощью пластиковых кабель-каналов. Внутри камеры над блоком гермовводов на стене установлена панель с блоками защищенных крышками влагоустойчивых розеток для подключения испытательного оборудования.

В шкафу для электроавтоматики и органов управления КПП установлены все устройства для питания, включения, выключения и регулировки режимов работы всех испытываемых и вспомогательных приборов и устройств.

Около шкафа для электроавтоматики установлено устройство для ввода испытуемого аэрозоля в КПП.

3.4 Средства измерений

3.4.1 Система датчиков температуры, влажности

Стенд на базе ГАТ оборудован средствами, позволяющими с высокой точностью фиксировать состояние обдуваемого генератор воздушного потока и потока аэрозоля после выхода последнего из сопловой части генератора при дальнейшем движении по тракту ГАТ. Измеряемыми и контролируемыми величинами являются скорость воздушного потока, его температура и влажность.

3.4.2 Измерители скорости воздушного потока

Для определения скорости воздушного потока в рабочей части ГАТ используются термоанемометр и трубка Пито с дифманометром.

Термоанемометр ТТМ-2-04 предназначен для измерения и преобразования скорости воздушного потока до 30 м/с и температуры в электрический сигнал.

Конструктивно преобразователь скорости состоит из измерительного блока и измерительного зонда. Корпус измерительного блока выполнен из металла. На верхней крышке измерительного блока устанавливается измерительный зонд, а на нижней — разъем для подключения интерфейсного кабеля. Выходной сигнал подается на разъем интерфейсного кабеля.

На аналоговый выход прибора выдается информация о скорости потока, а на цифровой — скорость и температура потока. Аналоговый выход настраиваемый. Коэффициент преобразования скорости задает приращение выходного тока в мА на единицу скорости м/с, а смещение определяет ток при нулевой скорости потока.

Погрешность измерения скорости воздушного потока $\pm (0,05 + 0,05 \cdot V)$, где V — скорость потока, м/с.

Термоанемометр установлен на выходе сопла двойного поджатия и оснащен поворотным механизмом, который автоматически выводит датчик из потока воздуха при достижении скорости потока больше 30 м/с и вводит его обратно в рабочую область при снижении скорости меньше 30 м/с.

Для измерения потока воздуха или газа методом дифференциального давления используется трубка Пито, дифманометр, высокоточный датчик абсолютного давления и термосопротивление. Датчики дифманометра объединены и выдают сигнал, пропорциональный квадрату скорости потока газа или воздуха. Скоростной напор выражается формулой:

$$P_1 = \rho V^2 / 2. (2)$$

В итоге получаем уравнение: $P = P_0 + P_1 = P_0 + \rho V^2 / 2$.

Измеряемая скорость вычисляется следующим образом:

$$V = \sqrt{2(P - P_0) / \rho}, (3)$$

где P — полное давление;

P_1 — динамическое;

P_0 — статическое;

V — скорость потока (полета);

ρ — плотность воздуха.

Трубка Пито состоит из двух трубок, которые измеряют давление в разных частях трубопровода. Одна трубка измеряет статическое давление, другая трубка измеряет набегающее давление. Чем больше скорость потока воздуха, тем больше набегающее давление. Резиновые трубки передают давление от трубки Пито к дифманометру МС3000 модификации 2420 с пределом измерения 10 кПа. Трубка Пито воспринимает общее и статическое давление воздушного потока в рабочей части ГАТ во всем диапазоне скоростей потока. Она ориентирована навстречу воздушному потоку и установлена на выходе сопла двойного поджатия в блоке с датчиками температуры и влажности потока поз. 15 и представлена на рисунке 1.

Дифманометр измеряет перепад между общим и статическим давлением, сигнал дифманометра в оцифрованном виде выдается на электронное табло и одновременно используется в программе управления ЧРО ЭД ГАТ. Погрешность измерения дифманометра на малых скоростях (5 м/с) составляет $\pm 0,15$ м/с, на больших скоростях (более 70 м/с) — $\pm 1,5$ м/с. Коэффициент преобразования динамического давления для всего диапазона скоростей $K_{Тсп} = 0,945$. Погрешность определения коэффициента преобразования динамического давления $K_{Тсп}$ составляет $\pm 0,51\%$.

В качестве датчика атмосферного давления используется высокоточный датчик давления DMP 331i для измерения низких и средних давлений.

Значение температуры снимается с термометра сопротивления ТСМТ-У10-100М-В2-8-500 с температурным диапазоном от минус 50 °С до плюс 50 °С. Выходной сигнал от 4 до 20 мА

передается на преобразователь сигнала для последующей оцифровки.

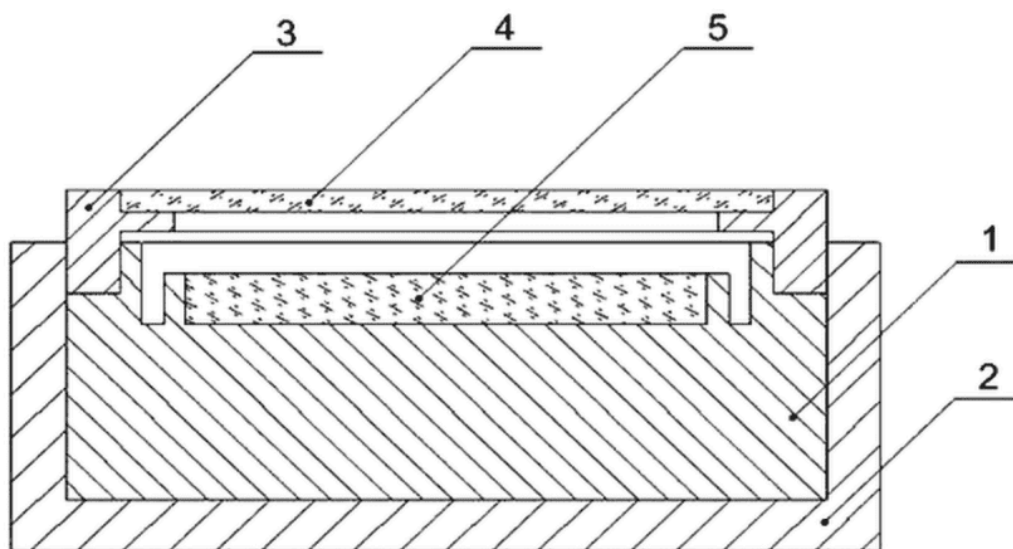
Полученные значения температуры и атмосферного давления используются в программе управления для внесения поправки на температуру воздуха в формулу расчета скорости.

3.4.3 Система регистрации ледяных кристаллов

Система служит для улавливания ледяных кристаллов, их хранения и последующего подсчета.

Система состоит из термостатов, оптического микроскопа и других средств измерения.

Термостат, представленный на рисунке 17, служит для улавливания ледяных кристаллов в камере переохлажденного тумана (облачной камере) и для их последующего хранения во время подсчета.



1 – корпус термостата; 2 – теплоизоляционный корпус; 3 – крышка термостата с прозрачным стеклом; 4 – стекло; 5 – предметное зеркальное стекло

Рисунок 17 – Термостат

Он состоит из латунного корпуса поз. 1, в который укладывается для экспонирования предметное стекло поз. 5, и из притертой крышки поз. 3 с прозрачным окном. Перед улавливанием ледяных кристаллов термостат вместе с предметным стеклом должен быть охлажден до температуры воздуха в КПТ, для чего термостат, помещенный в теплоизоляционный корпус поз. 2, устанавливается в КПТ на ее дно до начала охлаждения. После создания переохлажденного тумана в КПТ, введения исследуемого аэрозоля и начала образования ледяных кристаллов открывается крышка охлажденного термостата и предметное стекло экспонируется. На стекло выпадают ледяные кристаллы. После их выпадения термостат закрывается крышкой, извлекается из камеры и под микроскопом на предметном стекле термостата подсчитывается число кристаллов, наблюдаемых в поле зрения микроскопа.

Для подсчета кристаллов используется цифровой микроскоп с встроенной CMOS 2.0 мегапиксельной камерой с максимальным разрешением изображения 1600 x 1200 пикселей или другие микроскопы с аналогичными характеристиками.

Цифровой микроскоп служит для визуального подсчета (и фотографирования) ледяных кристаллов, уловленных на предметных стеклах термостатов, в отраженном свете.

Измеритель временных характеристик (секундомер) служит для регистрации временных характеристик работы ГЛА и для определения моментов начала и конца отбора аэрозоля в заборные камеры. Используется секундомер типа С-60 с ценой деления 1 с.

Термометр ТМ-4 служит для замера температуры воздуха и тумана в КПТ.

Измерение массы переводимого в аэрозоль реагента производится с помощью весов с ценой деления 1 мг при использовании навесок реагента массой от 10 до 500 мг и с помощью

микроаналитических весов «Acculab ALC-210d4» с ценой деления 0,1 мг для навесок массой менее 10 мг.

Для дозирования проб аэрозолей применяется шприц вместимостью 1000 см³.

3.5 Обработка результатов измерений и оценка показателей точности измерений выхода активных частиц

Регистрация результатов измерений осуществляется при помощи ПО MCCamera11.exe и Motic Images Plus 2.0 ML или аналогичных программ для оптических микроскопов. Совокупная работа этих программ позволяет проводить фото- и видеосъемку термостатов с ледяными кристаллами, сохранение в базу данных с одновременным доступом к массиву фотографий. Результаты измерений вносятся в рабочий журнал для записи результатов измерений и расчетов выхода активных частиц в аэродинамической трубе (рабочий журнал для записи измерений в аэродинамической трубе). Форма рабочего журнала для записи измерений в аэродинамической трубе приведена в приложении А.

Оценка погрешности результатов измерений производится в соответствии с б.4.

3.6 Порядок проведения работ

3.6.1 Подготовка к работе

3.6.1.1 Проверить положение ручек управления ГАТ.

3.6.1.2 Все ручки должны быть в выключенном состоянии в соответствии с инструкцией по эксплуатации пульта управления ГАТ.

3.6.1.3 Протереть чистой влажной тканью внутренние стенки камер переохлажденного тумана.

3.6.1.4 Протереть тканью, смоченной спиртом, предметные стекла термостатов и стекла крышек и установить их в закрытом состоянии на дно камеры.

3.6.1.5 Установить пенопластовые теплоизоляционные корпуса термостатов рядом с собственно термостатами.

3.6.1.6 Закрыть дверцы камеры.

3.6.1.7 Привести поршни заборных камер и дозирующих устройств в исходное положение, при этом нажатием на кнопку включения электромагнитного клапана проверить его срабатывание.

3.6.1.8 Проверить работу системы отбора и разбавления аэрозоля, включив воздухоподувку и, наблюдая за показаниями ротаметров, установить необходимый коэффициент разбавления. Отключить воздухоподувку.

3.6.1.9 Включить воду в системе охлаждения холодильного агрегата.

3.6.1.10 Проверить тестером систему поджига ГЛА, при этом обратив внимание на работоспособность кнопки «Пуск»: в не нажатом состоянии цепь должна быть разомкнута.

3.6.1.11 Контролировать величину температуры воздуха в камерах переохлажденного тумана через 5 – 15 мин.

3.6.1.12 Залить дистиллированную воду в генератор тумана, при этом ультразвуковой излучатель должен находиться в воде на глубине не менее 3 см от поверхности воды.

3.6.1.13 Включить парогенератор и убедиться в его работоспособности. Отключить его.

3.6.2 Порядок проведения испытаний

3.6.2.1 В работе участвуют: старший инженер, инженер, лаборант, представитель заказчика, при необходимости к работе привлекается механик по обслуживанию холодильных машин. Эксплуатация и обслуживание дымососа ГАТ и электрофильтров производится специальной группой обслуживания службы главного инженера ФГБУ «НПО „Тайфун“.»

3.6.2.2 Испытания проводятся по программам, утвержденным заказчиком и директором Института экспериментальной метеорологии ФГБУ «НПО „Тайфун“.»

3.6.2.3 Заказать группе обслуживания включение ГАТ (дымососа) и электрофильтров, указав время включения.

3.6.2.4 Произвести внешний осмотр ГЛА, обратив внимание на отсутствие дефектов.

- 3.6.2.5 Установить и закрепить ГЛА в камере Эйфеля в держателе, закрепленном на координатнике, ориентировочно по центру сечения рабочей части ГАТ.
- 3.6.2.6 Проверить тестером систему поджига электровоспламенителя ГЛА на отсутствие в ней напряжения.
- 3.6.2.7 Подсоединить проводники электровоспламенителя к клеммам системы поджига.
- 3.6.2.8 Выйти из камеры Эйфеля, герметично закрыть дверь и запереть ее поворотными клиновидными замками.
- 3.6.2.9 Определить величину температуры в КПТ. При достижении заданной отрицательной температуры отключить холодильный агрегат. Поддерживать в КПТ заданную температуру путем включения и отключения холодильного агрегата.
- 3.6.2.10 Включить ультразвуковой генератор и напустить туман в КПТ. Напуск производится в течение 3 – 7 с.
- 3.6.2.11 Ручками управления установить заданную программой скорость воздушного потока в ГАТ, контролируя скорость по показаниям дифманометра.
- 3.6.2.12 Включить воздухоувку системы отбора и разбавления аэрозоля и по показаниям ротаметров определить коэффициент разбавления К и записать его в рабочий журнал для записи измерений в аэродинамической трубе.
- 3.6.2.13 Включить кнопкой «Пуск» электровоспламенитель ГЛА.
- 3.6.2.14 В случае отказа воспламенения ГЛА отключить воздухоувки:
- установить ручками управления ГАТ минимальную скорость воздушного потока;
 - спустя 15 мин после нажатия кнопки «Пуск» открыть дверь камеры Эйфеля и произвести осмотр генератора;
 - устранить внешние причины отказа в воспламенении ГЛА;
 - повторить работу по **3.6.2.13**. В случае повторного отказа в воспламенении снять ГЛА с дальнейших испытаний и сделать соответствующую запись в журнал для записи измерений в аэродинамической трубе.
- 3.6.2.15 Произвести отбор пробы аэрозоля в заборные камеры в заданный момент времени работы ГЛА.
- 3.6.2.16 Измерить секундомером время работы ГЛА и записать в журнал для записи измерений в аэродинамической трубе.
- 3.6.2.17 Включить осветители в облачных камерах и визуально определить начало появления ледяных кристаллов.
- 3.6.2.18 Нажать на кнопку включения электромагнитного клапана и ввести в переохлажденный туман требуемый объем пробы аэрозоля.
- 3.6.2.19 Открыть люк дверцы КПТ и крышку одного из термостатов. Закрыть люк.
- 3.6.2.20 Замерить температуру в КПТ и записать в журнал для записи измерений в аэродинамической трубе.
- 3.6.2.21 Отсоединить от заборной магистрали резиновый шланг, подходящий к основной магистрали. Подсоединить его к трубке отсоса и временно заглушить пробкой подводящую магистраль. Аэрозоль из заборной камеры будет весь удален и поршень камеры возвратится в исходное положение.
- 3.6.2.22 Отключить воздухоувку.
- 3.6.2.23 Отсоединить резиновую трубку от трубки отсоса и заглушить ее пробкой. Далее подсоединить резиновую трубку к подводящей магистрали.
- 3.6.2.24 Установить ручками управления ГАТ минимальную скорость воздушного потока.
- 3.6.2.25 Определить визуально исчезновение ледяных кристаллов в КПТ.

3.6.2.26 Открыть люк дверцы камеры, закрыть термостат, поместить его в теплоизоляционный корпус и перенести его на предметный столик микроскопа, люк закрыть.

3.6.2.27 Включить источник света в микроскопе и сфокусировать изображение кристаллов на предметном стекле.

3.6.2.28 Просчитать число кристаллов в шести произвольно выбранных полях зрения и результаты записать в журнал для записи измерений в аэродинамической трубе. Вычислить среднее число кристаллов в поле зрения.

3.6.2.29 Напустить в КПП пар из парогенератора и повторить операции.

3.6.2.30 Повторять операцию до тех пор, пока в поле зрения микроскопа будет находиться не более двух кристаллов.

3.6.2.31 Рассчитать величину выхода активных частиц по формуле (1).

3.6.2.32 Открыть дверь камеры Эйфеля, снять ГЛА с держателя. Вынести испытанный ГЛА из камеры и закрыть дверь.

3.6.2.33 Произвести испытания следующих ГЛА.

3.6.3 Порядок окончания работы

3.6.3.1 Отключить генератор тумана.

3.6.3.2 Отключить холодильный агрегат.

3.6.3.3 Перекрыть воду в системе охлаждения агрегата.

3.6.3.4 Заказать отключение дымососа.

3.6.3.5 Отключить питание микроскопа, систему электроподжига, электромагнитного клапана, осветителей.

3.6.4 Техническое обслуживание оборудования

3.6.4.1 Обслуживание и поверка дымососа холодильного агрегата осуществляется службами главного инженера в соответствии с эксплуатационной документацией на эти установки.

3.6.4.2 Обслуживание и поверка оптического микроскопа, тестера, ротаметров, термометров, секундомеров, трубки Пито и дифманометра осуществляется в соответствии с эксплуатационной документацией на эти приборы.

3.6.4.3 Проверять визуально перед каждым исследованием величину отклонения оси рабочей части трубки Пито от оси воздушного потока (оси рабочей части ГАТ). Эта величина не должна превышать 15 мм.

3.6.4.4 Проверять перед каждым исследованием на поврежденность резиновых герметизирующих прокладок на дверях камеры Эйфеля.

3.6.4.5 Перед каждой установкой заданной скорости воздушного потока в рабочей части ГАТ проверять внешним осмотром резиновые трубки, идущие от трубки Пито к дифманометру, на отсутствие в них трещин, проколов, прорезов, на отсутствие в трубках жидкости и на отсутствие резких перегибов.

4 Метод испытаний фрагментов пиротехнических ГЛА, входящих в состав ГЧ ракет типа «Алазань», в ГАТ

Задачей данного метода является определение активности ГЧ противораковых ракет типа «Алазань» в ситуации, когда экспериментатор имеет ограниченное число образцов и проведение испытаний по стандартным методам, для которого требуется от 6 до 12 образцов, невозможно. Для данного метода достаточно 1 или 2 ГЧ тестируемой ракеты. Поэтому метод предполагает разделение ГЧ на соответствующее число фрагментов, проведение испытаний микронавески состава ГЧ с целью предварительного определения льдообразующей эффективности, что позволяет рассчитать количество вводимого аэрозоля при испытании фрагмента ГЧ во избежание «недозасева» или «перезасева». Итоговым результатом, максимально отражающим реальную льдообразующую эффективность испытываемой ГЧ, является результат, полученный на этапе испытания фрагмента ГЧ. Испытания же льдообразующей эффективности микронавесок следует рассматривать только как предварительные, ориентировочные.

Испытания проводятся с использованием элементов стенда на базе ГАТ ФГБУ «НПО „Тайфун“, подробно описанного в разделе 3.»

4.1 Проведение предварительных экспериментов в камере лабораторного сжигания

Для проведения испытания из фрагмента шашки активного дыма (ШАД) ГЧ выделяются навески весом 100 мг и помещаются в лабораторное устройство для сжигания. Устройство представляет собой герметично закрываемую камеру с соплом диаметром 1 мм и нихромовой нитью накаливания, размещаемой внутри камеры, для поджига навески пиросостава. Для улучшения воспроизводимости результатов сопло устройства для сжигания перекрывают кружком алюминиевой фольги толщиной 200 мкм, предназначенной для более быстрого установления рабочего давления в камере сжигания и минимизирования переходных режимов. Алюминиевая фольга в дальнейшем разрывается при превышении порогового давления в камере сжигания.

Устройство для сжигания, представленное на рисунке 18, размещается в климатической камере фиксированного объема, сопло устройства обдувается потоком вентилятора со скоростью от 10 до 15 м/с, этим же вентилятором и обеспечивается перемешивание образованного аэрозоля по всему объему камеры.



Рисунок 18 – Лабораторное устройство для сжигания образцов

После проведения сжигания и выдержки в течение 1 мин пробу аэрозоля из климатической камеры переносят с помощью пробоотборника в облачную камеру с переохлажденным туманом.

Определение количества выпавших кристаллов и соответственно льдообразующую эффективность пиросостава определяют по формуле

$$N = \frac{N_{\text{кр}} K_{\text{микро}} V_{\text{кам}}}{V_{\text{пробы}} \times M_{\text{пиро}}}, (4)$$

где $N_{\text{кр}}$ – количество кристаллов в поле зрения микроскопа;

$K_{\text{микро}}$ – отношение поля зрения микроскопа к площади дна камеры;

$V_{\text{кам}}$ – объем климатической камеры, см³;

$V_{\text{пробы}}$ – дозированный объем, см³;

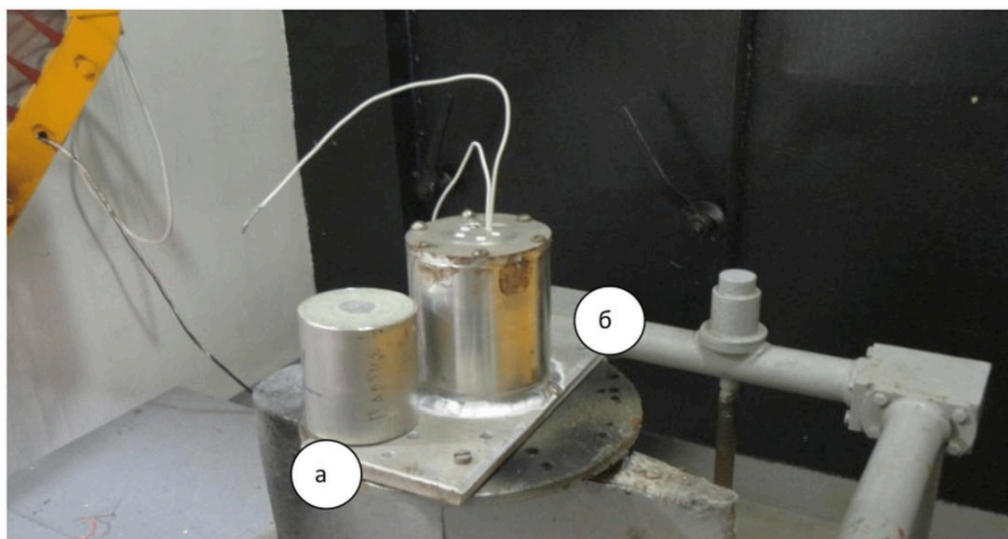
$M_{\text{пиро}}$ – навеска пиросостава, г.

Результатом испытаний является зависимость льдообразующей активности исследуемого образца от температуры.

4.2 Проведение испытаний фрагментов ГЧ ракеты

После того, как предварительные исследования льдообразующей активности образцов ГЧ по микронавескам по 4.1 выполнены, приступают к итоговому определению льдообразующей активности фрагментов ГЧ ракеты. Для этого фрагменты ГЧ помещают в емкость,

превосходящую их по размерам, и заливают эпоксидным компаундом как показано на [рисунке 19](#), поз. а, оставляя открытой только торцевую часть фрагмента. Данная операция выполняется с целью ограничения горячей поверхности образца.



а – фрагмент ШАД ГЧ ракеты «Алазань»; б – устройство для сжигания в камере Эйфеля ГАТ

Рисунок 19 – Устройство для сжигания фрагмента ГЧ ракеты

Далее фрагмент ГЧ помещают в устройство для сжигания в соответствии с [рисунком 19](#), поз. б, снабженное крышкой с отверстиями, профиль которых приближается по геометрии к профилю сопла Лаваля.

Суммарный диаметр критических сечений сопел крышки рассчитывается, исходя из коэффициента диафрагмирования ГЧ оригинальной ракеты (коэффициент диафрагмирования определяется как отношение площади горячей поверхности фрагмента ШАД ГЧ к суммарному диаметру критических сечений всех выходных отверстий).

После герметизации крышки и установки нити накаливания, устройство для сжигания размещается в креплениях стенда на базе ГАТ, устанавливается скорость обдува устройства соответственно программе испытаний и производится его зажигание.

После установления рабочего режима горения из тракта ГАТ отбирается проба аэрозоля, объем которой определяется предварительно, поскольку известна ориентировочная льдообразующая активность пиросостава, полученная при испытании микронавески. Льдообразующая активность фрагмента ГЧ ракеты определяется по методу определения льдообразующей активности ПГИ, описанному в [разделе 3](#).

Расчет льдообразующей эффективности состава ГЧ ракеты определяется по формуле

$$N = 2,078610^6 K \frac{U t_c}{V_0 M} \sum N_{0i}, \quad (5)$$

где К – коэффициент разбавления аэрозоля чистым воздухом;

U – скорость воздушного потока в рабочей части аэродинамической трубы, м/с;

t_c – время горения фрагмента ГЧ, с;

V₀ – объем пробы аэрозоля, введенный в камеру переохлажденного тумана, см³;

M – масса фрагмента ГЧ, г;

N_{0i} – среднее число кристаллов в поле зрения микроскопа, подсчитанное после i-го введения тумана.

5 Метод определения льдообразующей эффективности фрагментов пиротехнических ГЛА, входящих в состав ГЧ ракет типа «Алазань», на лабораторных установках

5.1 Общее описание метода

Принцип оценки эффективности ПГИ состоит в определении числа ледяных кристаллов, образующихся при введении известного количества пиротехнического состава в виде аэрозоля в переохлажденный водный туман. Туман создается в охлаждаемой облачной камере пуском струи горячего водяного пара или механическим диспергированием воды. Исследуемый пиротехнический состав предварительно переводят в аэрозоль в отдельном резервуаре — аэрозольной камере. Количество образовавшихся ледяных кристаллов оценивается по числу кристаллов, выпавших на единицу площади пола облачной камеры. Улавливание кристаллов производится либо на пленку репликообразующего вещества, которая после затвердевания сохраняет отпечатки осевших ледяных кристаллов, либо в микротермостат, сохраняющий ледяные кристаллы в течение времени, достаточного для их подсчета с помощью оптического микроскопа. Аналогичный метод испытаний в ГАТ описан в подразделе 3.1.

5.2 Технические данные лабораторного оборудования, средств измерений и контроля

5.2.1 Необходимым лабораторным оборудованием в методе являются охлаждаемая облачная камера (КПТ), камера для получения аэрозоля (аэрозольная камера), ультразвуковой парогенератор, устройство (шприц) для дозированного отбора проб аэрозоля и автоматизированная система для подсчета ледяных кристаллов, которая состоит из персонального компьютера и оптического микроскопа с видеокамерой. Средствами измерений являются термометр для измерения температуры в рабочем объеме облачной камеры, измеритель влажности, секундомер, весы для взвешивания образцов реагента (пиросостава). Состав типовой установки представлен на рисунке 20:

- облачная камера TSW-300 (на основе холодильного агрегата ФАК-1,5МЗ) объемом 0,080 м³;
- аэрозольная камера объемом 2,0 м³ с автономной системой очистки;
- ультразвуковой парогенератор Electrolux EHU-2510D мощностью 140 Вт;
- электронные весы «Adventurer» с точностью взвешивания до 10⁻⁴ г;
- цифровой микроскоп или его аналоги;
- пульт управления устройствами внутри облачной камеры и парогенератором.



Рисунок 20 — Состав типовой установки

5.2.1.1 Описание облачной камеры (камеры переохлажденного тумана, КПТ) приведено в 3.3.8.

5.2.1.2 Аэрозольная камера представляет собой прямоугольный короб объемом 1 м³. Аэрозольная камера изготовлена из винипласта, передняя стенка выполнена из оргстекла. В этой стенке имеется дверца для введения в камеру устройства для получения аэрозолей и небольшой люк, через который с помощью шприца отбираются пробы аэрозоля для исследования в облачной камере. Внутри аэрозольной камеры, на одной из боковых стенок, установлен вентилятор, используемый для выравнивания концентрации получаемого аэрозоля. Для очистки камеры от аэрозоля в ее потолке сделано отверстие, закрываемое крышкой на время опыта и соединяющее при необходимости камеру с вытяжкой вентиляционной трубой. Для ускорения процесса очистки и более полного удаления частиц аэрозольная камера снабжена обводной трубой, на входе которой установлен аэрозольный фильтр. Ускоренная

очистка производится при принудительном протягивании камерного воздуха через аэрозольный фильтр с помощью воздуходувки.

5.2.1.3 Ультразвуковой парогенератор создает водяной пар из дистиллированной воды ультразвуковой мембраной.

Для отбора проб аэрозолей применяется шприц объемом от 20 до 250 см³ с ценой деления от 1 до 10 см³ соответственно.

Для подсчета кристаллов используется цифровой микроскоп с увеличением от 100 раз или его аналог.

5.2.2 При проведении испытаний контролируются следующие параметры с использованием инструментальных средств измерений:

- измерение температуры в облачной и аэрозольной камерах должно производиться измерителем температуры с диапазоном измеряемых температур от минус 25 до 25 °С и погрешностью показаний не более $\pm 0,3$ °С;
- измерение времени должно производиться секундомером с ценой деления 1 с;
- измерение массы переводимого в аэрозоль вещества производится с помощью микроаналитических весов с точностью 0,01 мг.

5.3 Порядок проведения работ

5.3.1 Подготовка к работе

5.3.1.1 Производится осмотр установки. Внутренние стенки рабочего объема КПТ протирают чистой ветошью. Проверяют работу осветителя и заборника проб кристаллов, а также наличие и состояние репликообразующего раствора в камере. В заборник закладывают требуемое количество чистых предметных стекол. В парогенератор заливают дистиллированную воду до полного покрытия электроспирали. КПТ закрывают.

5.3.1.2 Включают холодильный агрегат и КПТ охлаждается до температуры на 3 – 5 °С ниже заданной температуры опыта.

5.3.1.3 При достижении требуемой температуры холодильный агрегат отключают, включают вентилятор в рабочем объеме и КПТ оставляют на 10 – 15 мин в режиме естественного нагрева. За это время градиенты температуры в рабочем объеме уменьшаются до минимальных значений.

5.3.1.4 Производят предварительную подготовку парогенератора. Включают в сеть электроспираль и доводят воду в парогенераторе до кипения. Парогенератор отключают.

5.3.1.5 Производят подготовку образцов пиротехнического состава ПГИ для исследования на льдообразующую активность. Из центральной части ШАД ПГИ или ее небольшой части вырезают кусочки (образцы) пиросоставов диаметром ~ 5 мм и весом от 90 до 200 мг. Сжигание образцов производят в аэрозольной камере. Внутри аэрозольной камеры образцы помещаются в миниатюрное устройство камеры лабораторного сжигания (КЛС), представляющее собой цилиндр диаметром 6 мм, открытый с одного конца. У этого торца в КЛС натянута металлическая нить, нагреваемая электрическим током и воспламеняющая сжигаемый образец пиросостава. Испытания проводят при закрывании торца диафрагмой с узким отверстием диаметром 1 мм, моделирующем условия сжигания состава в ПГИ и (или) без диафрагмирования.

5.3.2 Порядок выполнения операций при определении эффективности пиросоставов

5.3.2.1 При повышении температуры в рабочем объеме КПТ до значения на 1,5 – 2 °С ниже необходимой температуры опыта производят возгонку навески пиросостава в аэрозольной камере.

5.3.2.2 Образовавшийся аэрозоль перемешивается вентилятором в течение 30 – 45 с.

5.3.2.3 Вентилятор отключают и аэрозоль оставляют в аэрозольной камере на 30 – 60 с.

5.3.2.4 Во время выдержки аэрозоля в аэрозольной камере репликообразующим раствором смазывают предназначенное для экспонирования предметное стекло в заборнике ледяных

кристаллов. Для этого стеклянной палочкой на стекло вручную наносят каплю из находящейся в КПТ бюксы с раствором. Каплю раскатывают в тонкую пленку с помощью стеклянного валика. Палочка и валик находятся постоянно в рабочем объеме КПТ и имеют ее температуру.

5.3.2.5 Включают парогенератор и пуском струи пара в КПТ создают туман. На время пуска пара стекло в заборнике закрывают заслонкой, а в КПТ 1 – 2 раза включают вентилятор на 1 – 2 с для получения более однородного тумана.

5.3.2.6 После создания в КПТ тумана с помощью шприца производят отбор пробы аэрозоля из аэрозольной камеры. Пробу вводят в КПТ. Сразу после введения пробы в КПТ включают вентилятор на 1 – 2 с для равномерного распределения аэрозольных частиц в рабочем объеме.

5.3.2.7 Заслонку заборника открывают и образовавшиеся кристаллы улавливаются на стеклянную пластинку с пленкой репликообразующего раствора до полного рассеяния тумана. Одновременно интенсивность образования ледяных кристаллов приближенно оценивают визуально в пучке света.

5.3.2.8 Сразу после открытия заслонки заборника фиксируют показание термометра в облачной камере с точностью до 0,5 деления (+/- 0,1 °C).

5.3.2.9 Во время осаждения кристаллов производят очистку аэрозольной камеры. Для этого камеру соединяют с вытяжной вентиляционной трубой. Одновременно открывают люк в передней дверце аэрозольной камеры для поступления воздуха в камеру из лабораторного помещения. Очистку камеры производят не менее 10 мин.

5.3.2.10 При необходимости более полной очистки аэрозольной камеры производят дополнительную очистку протягиванием камерного воздуха через фильтр. Для этого камеру отсоединяют от вытяжной трубы и полностью закрывают. На 5 мин включают воздухоудку, осуществляющую принудительную перекачку камерного воздуха через фильтр по обводной трубе.

5.3.2.11 В КПТ по окончании экспонирования стекло поворотом диска убирают под крышку кожуха заборника, отверстие в кожухе закрывают заслонкой и в КПТ вводят новую порцию пара для вымывания остаточных частиц, активирующихся в течение более длительного времени. Для полного очищения КПТ обычно достаточно 1 – 2 пусков пара, производимых при температуре на 1 – 5 °C ниже, чем температура последующего опыта. По окончании очистки установка готова для нового измерения.

5.3.2.12 Регистрация образующихся в КПТ ледяных кристаллов производится с помощью метода получения твердых отпечатков-реplik на пленке полиметилметакрилата. Для приготовления репликообразующего раствора 10 – 15 см³ мономера метилметакрилата кипятится в пробирке с добавкой 2 – 4 мг перекиси бензоила в течение 10 – 30 мин. Оптимальная длительность кипячения зависит от условий предварительного хранения мономера метилметакрилата и не может быть указана точно. Кипячение заканчивают, когда образующиеся в жидкости пузырьки не в состоянии выплыть на поверхность и прилипают ко дну пробирки. Подготовленный таким образом полиметилметакрилат хранится в бюксе с притертой пробкой в облачной камере. Оптимальная по густоте и толщине пленка полиметилметакрилата должна давать четкие отпечатки кристаллов с размерами более 5 мкм, а также крупных облачных капель (в виде точек).

Экспонированные предметные стекла оставляют в заборнике на 2 – 3 ч при поддержании в КПТ температуры ниже 0 °C (во избежание таяния кристаллов) до полного затвердевания репликообразующего раствора.

5.3.2.13 После окончания процесса осаждения кристаллов предметные стекла извлекаются и полученные кристаллы фотографируются в поле цифрового микроскопа или аналога с последующим их программным или ручным подсчетом.

На выбранных по визуальной оценке удовлетворительных участках стекла определяется число ледяных кристаллов на нескольких полях зрения. Определяется среднее арифметическое значение числа ледяных кристаллов в поле зрения микроскопа $\bar{n}$ по формуле

$$\bar{n} = \sum_{i=1}^{n_1} n_i / n_1, \quad (6)$$

где n_i – число ледяных кристаллов в поле зрения микроскопа, n_1 – число просмотренных полей зрения.

Число обсчитываемых полей зрения устанавливается по среднему числу ледяных кристаллов в поле зрения так, чтобы $\bar{n} \times n_1 \geq 100$. При количестве кристаллов $\bar{n} \leq 100$ просматривается вся поверхность предметного стекла.

5.3.3 Выполнение вспомогательных операций при определении эффективности пиросоставов

5.3.3.1 Создание тумана в малой КПТ должно производиться введением пара в течение 15 – 20 с или ультразвуковым парогенератором в течение 2 мин. Для большой КПТ время введения пара составляет 3 – 5 мин. При такой длительности начальная водность тумана составляет от 1 до 2 г/м³. Небольшие колебания водности в интервале значений от 0,5 до 2,0 г/м³ не влияют на выход активных частиц. Однако уменьшение водности до значений ниже 0,5 г/м³, при которых туман визуально отмечается как легкая дымка, не должно допускаться, поскольку приводит к уменьшению выхода активных частиц.

5.3.3.2 Для подготовки к проведению эксперимента подложки микроскопа протирают ватой, смоченной в этиловом спирте, и накрывают крышками. Подложки микроскопа, используемые для регистрации ледяных кристаллов, должны давать четкие отпечатки кристаллов с размерами более 5 мкм, а также крупных облачных капель.

5.3.3.3 Объем вводимой в туман пробы аэрозоля варьируется в зависимости от активности исследуемого аэрозоля и температуры тумана. Оптимальная концентрация активных частиц в облачной камере составляет 50 – 100 см⁻³ (50 – 100 ледяных кристаллов в поле зрения микроскопа площадью 1,45 мм²). Введение активных ядер в концентрации более чем 100 см⁻³ приводит к перезасеву тумана. При этом облачной влаги не хватает для активации всех активных при данной температуре частиц, часть ядер остается не проявленной и результаты измерений оказываются заниженными. Во избежание этого объем вводимой в туман пробы должен подбираться в каждом опыте таким, чтобы после окончания выпадения кристаллов в пучке света просматривалось наличие остаточного слабого тумана.

Чрезмерное снижение концентрации активных ядер в тумане приводит к увеличению статистической погрешности из-за малого числа подсчитываемых кристаллов. Поэтому при пониженной активности исследуемого аэрозоля или повышении температуры опыта следует увеличивать объем вводимой в туман пробы аэрозоля, с тем, чтобы число кристаллов не снижалось ниже трех в поле зрения микроскопа.

6 Обработка результатов измерений. Оценка показателей точности измерений выхода активных частиц. Форма представления результатов

6.1 Регистрация результатов измерений и расчетов выхода активных частиц

В рабочий журнал для записи результатов лабораторных измерений и расчетов выхода активных частиц (**приложение Б**) записывают: наименование исследуемого состава; название (тип) сжигающего устройства и характеристики используемого режима его работы; дату; номер опыта; температуру тумана; массу переведенной в аэрозоль навески состава; номер предметного стекла; объем пробы аэрозоля; визуальную оценку примерного числа ледяных кристаллов в пучке света.

После обработки результатов в журнал для записи лабораторных измерений записывают среднее число ледяных кристаллов в поле зрения микроскопа, общее расчетное число кристаллов в рабочем объеме КПТ, массу введенного в КПТ пиросостава и выход активных частиц в расчете на единицу массы исследованного пиросостава.

6.2 Расчетная формула для вычисления выхода активных частиц

Выход активных частиц № на единицу массы переведенного в аэрозоль вещества ($r-1$) определяется по формуле

$$N = \frac{\bar{n}VS}{svm}, (7)$$

где V – объем аэрозольной камеры, см³;

S – площадь пола облачной камеры, см²;

s – площадь поля зрения микроскопа, см²;

v – объем пробы аэрозоля, см³;

m – масса переведенного в аэрозоль вещества, г.

В случае $\bar{n} \leq 1$ и просмотре всей поверхности стекла s в формуле (6) заменяется площадью, ограниченной предельным перемещением предметного столика.

Результаты измерения N^о при различных температурах тумана могут оформляться в виде таблицы N-T или графической зависимости N(T), построенной в полулогарифмической шкале logN(T).

6.3 Предел обнаружения и диапазон изменения определяемой величины выхода активных частиц

Минимальное и максимальное определяемые значения выхода активных частиц определяются методом регистрации частиц, объемом используемой аэрозольной камеры и допустимым по средствам измерения количеством диспергируемого в аэрозоль вещества. В данном методе они составляют 107 и 1019 г-1.

В качестве верхнего предела может рассматриваться теоретический выход активных частиц для наиболее активного льдообразующего вещества – йодистого серебра – при наименьшей температуре измерения минус 25 °С, равный 1019 г-1.

6.4 Оценка погрешности результата измерений выхода активных частиц

Суммарная относительная погрешность δ_N отдельного измерения выхода активных частиц N^о складывается из двух случайных составляющих: погрешности, связанной с измерением температуры опыта δ_T , и погрешности определения величины N. Исходя из формулы (6) по правилам вычисления погрешности косвенных измерений δ

$$\delta_N = \pm \sqrt{\delta_T^2 + \delta^2}. (8)$$

Для большинства исследуемых типов зависимостей N(T) с наклоном кривых $\Delta N / (\Delta T - N)$ от 0,5 до 1 (°С)-1, относительная погрешность δ_T составляет от 10% до 20%, как указано в подразделе 6.5.

Погрешность косвенных измерений определяется по формуле

$$\delta = \pm \sqrt{\delta_{\bar{n}}^2 + \delta_v^2 + \delta_m^2},$$

(9)

где $\delta_{\bar{n}}$, δ_v и δ_m – относительные погрешности определения переменных величин $\bar{n}$, v и m.

Величина $\delta_{\bar{n}}$ является средней квадратичной погрешностью в измерении среднего числа ледяных кристаллов в поле зрения микроскопа и составляет +/- 15%.

Относительная погрешность определения массы переводимой в аэрозоль навески вещества δ_m в интервале значений m от 10 до 300 мг, измеряемых с помощью микроаналитических весов, составляет от +/- 10% до +/- 0,1%. Относительная погрешность определения объема пробы аэрозоля при использовании шприца с ценой деления 10 мл для обычно применяемых объемов от 50 до 200 см³ составляет от +/- 10% до +/- 3%.

С учетом этих величин максимальное значение погрешности выхода активных частиц составляет

$$\delta_{max} = \pm \sqrt{0,15^2 + 0,1^2 + 0,1^2} = \pm 0,206 = \pm 21\%.$$

Минимальное значение

$$\delta_{min} = \pm \sqrt{0,15^2 + 0,03^2 + 0,003^2} = \pm 0,150 = \pm 15\%.$$

Суммарная погрешность отдельного измерения выхода активных частиц δ_N имеет максимальное +/- 29% и минимальное значение +/- 18%.

6.5 Погрешность метода

6.5.1 Основная погрешность складывается из систематической и случайной составляющих.

6.5.2 Систематическая составляющая основной погрешности обусловливается потерями аэрозольных частиц (их коагуляцией и осаждением) во время подготовительных операций по введению аэрозоля в переохлажденный туман и наличием неустраняемых температурных градиентов в рабочем объеме КПТ, приводящих к активации части ядер при температурах, отличных от температуры опыта, регистрируемой в центре КПТ. При обычной продолжительности подготовительных операций 1 – 3 мин суммарные потери аэрозольных частиц с начальной концентрацией менее 107 см⁻³ и размерами менее 5·10⁻⁵ см, согласно экспериментальной оценке, не превышают 5%. Систематическая погрешность, связанная с температурными градиентами в КПТ, зависит от вида температурной зависимости выхода $N(T)$ и при градиентах менее 0,03 °C/см не превышает 5% для участков $N(T)$, где выход мало меняется с температурой ($\Delta N / \Delta T \leq 0,1 N^{\circ C^{-1}}$), увеличиваясь до 25% вблизи температурного порога активности пиросостава, где $\Delta N / \Delta T \geq N^{\circ C^{-1}}$.

6.5.3 Случайная составляющая основной погрешности складывается из погрешности в определении исходной массы переводимого в аэрозоль пиросостава, погрешности в определении объема пробы исследуемого аэрозоля, погрешности определения числа активируемых частиц (ледяных кристаллов) и погрешности измерения температуры переохлажденного тумана. Две первые погрешности определяются погрешностями весов и шприца – отборника проб, и каждая из них не превышает +/- 10%.

Погрешность в определении числа кристаллов состоит из погрешности подсчета кристаллов, не превышающей +/- 5%, и погрешности, обусловленной ограниченностью выборки – флуктуациями количества n кристаллов, попадающих в поле зрения микроскопа. Эта погрешность может быть снижена путем увеличения числа обсчитываемых полей зрения с тем, чтобы погрешность, определяемая по закону Пуассона как $1/\sqrt{nn_1}$, оставалась на достаточно низком уровне (не более +/- 10%). Случайная составляющая погрешности измерения, связанная с погрешностью в определении температуры переохлажденного тумана, зависит от характера температурной зависимости выхода. Для наиболее типичных участков температурного спектра $\Delta N / \Delta T$ от 0,05·N °C⁻¹ до 0,1·N °C⁻¹ она составляет +/- (10 – 20)%. При более резком изменении N с температурой

$$\Delta N / \Delta T \geq 1 N \geq ^{\circ}C^{-1}$$

погрешность возрастает до 80% и более.

6.6 Производительность метода

Длительность одного опыта составляет 40 – 50 мин, что с учетом подготовительного периода позволяет проводить 6 – 8 измерений в течение 8-часового рабочего дня.

7 Метеорологические условия в лабораторном помещении

Необходимыми метеорологическими условиями использования метода являются:

- температура воздуха в помещении, °С	25 +/- 10;
- влажность воздуха при температуре 25 +/- 10 °С, %	от 25 до 90;
- атмосферное давление, Па	105.

8 Общие указания

8.1 Требования к квалификации операторов и охране труда

Определение льдообразующей эффективности реагентов должно производиться специалистами с высшим и средним специальным образованием, прошедшими стажировку по работе с установками под руководством опытного специалиста [2]. Работа с установками в лабораториях производится в соответствии с правилами по охране труда при производстве гидрометеорологических работ [3]. Облачная камера и другие приборы, подключенные к сети переменного тока напряжением 220 В, должны быть заземлены.

К работе на установках допускаются лица, изучившие требования по охране труда и пожарной безопасности и прошедшие инструктажи:

- по безопасности труда при работах по исследованию генераторов льдообразующих аэрозолей согласно 8.2;
- по Инструкции по охране труда для работников Института экспериментальной метеорологии при работе на установках, и в помещениях аэрозольного корпуса [4];
- по Инструкции по охране труда для административно-управленческого аппарата, специалистов, инженерно-технического персонала научных отделов, лабораторий и центров Центральной аэрологической обсерватории [5];
- по Инструкции по обеспечению пожарной безопасности в подразделениях Научно-производственного объединения «Тайфун», Центральной аэрологической обсерватории, Высокогорного геофизического института [6] - [8].

Ответственным за проведение работ является ответственный исполнитель темы.

8.2 Указания дополнительных мер безопасности

Работы, проводимые по исследованию ГЛА на стенде ГАТ, относятся к огнеопасным.

Запрещается ронять ГЛА, ударять по нему.

Запрещается производить работы на стенде одному лицу.

При исследованиях ГЛА запрещается:

- а) проводить другие работы, не связанные с данными исследованиями;
- б) присутствовать в помещении ГАТ лицам, не принимающим участие в испытаниях;
- в) работать при неисправном оборудовании;
- г) курить в испытательных помещениях.

При проведении исследований дверь камеры Эйфеля должна быть закрытой и запертой поворотными клиновидными замками.

Перед подсоединением проводов электровоспламенителя к цепи поджига необходимо цепь поджига проверить на обесточенность при помощи тестера.

В случае отказа в воспламенении ГЛА производить осмотр генератора разрешается не раньше, чем через 15 мин после подачи импульса на электровоспламенитель. В случае вторичного отказа в воспламенении ГЛА снимается с дальнейших испытаний.

В случае взрыва ГЛА с дальнейших испытаний снимается вся партия генераторов.

Приложение А (обязательное)

Рабочий журнал для записи результатов измерений и расчетов выхода активных частиц в аэродинамической трубе

Исследуемый реагент _____

Тип генератора аэрозоля, режим работы генератора _____

Дата	Время	Номер опыта	Температура тумана T, °C	Масса навески реагента m, мг	Номер предметного стекла	Объем пробы аэрозоля v, см ³	Визуальная оценка количества кристаллов	Среднее число ледяных кристаллов в поле зрения микроскопа $\bar{n}$	Общее число кристаллов в объеме камеры $n_n = \bar{n}S/s$

ФИО			
Должность			
Дата		Подпись	

Приложение Б (обязательное)

Рабочий журнал для записи результатов лабораторных измерений и расчетов выхода активных частиц

Исследуемый пиросостав _____

Название (тип) сжигающего устройства _____

Дата	Номер опыта	Температура, °C	Масса навески m, мг	Номер предметного стекла	V пробы аэрозоля, см ³	Визуальная оценка количества кристаллов	Среднее количество кристаллов в поле зрения	Общее число кристаллов в объеме камеры	Масса введен в камеру пиросо мг

ФИО			
Должность			
Дата		Подпись	

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Руководящий документ **РД 52.11.850-2016**. Термины и определения в области активных воздействий на гидрометеорологические процессы и явления
2. Министерство здравоохранения и социального развития Российской Федерации. Приказ от 16.02.2009 г. № 48 «Об утверждении единого квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и служащих, раздел „Квалификационные характеристики должностей работников гидрометеорологической службы“»
3. Правила по охране труда при производстве наблюдений и работ на сети Росгидромета. ВНИИГМИ МЦД, 2004. – 567 с.
4. Инструкция по охране труда для работников Института экспериментальной метеорологии при работе на установках и в помещениях аэрозольного корпуса ИОТ-ИЭМ-2018 // Обнинск: ФГБУ «НПО „Тайфун“. 2018. – 17 с.»

5. Инструкция по охране труда для административно-управленческого аппарата, специалистов, инженерно-технического персонала научных отделов, лабораторий и центров ОТ-08-2019 // Долгопрудный: ФГБУ «ЦАО», 2019. — 5 с.
6. Инструкция по обеспечению пожарной безопасности в подразделениях ФГБУ «НПО „Тайфун“ (общеобъектовая) № 01 // Обнинск: ФГБУ „НПО „Тайфун“. 2018. — 30 с.»
7. Инструкция о мерах пожарной безопасности на территории, в зданиях, сооружениях и помещениях // Долгопрудный: ФГБУ «ЦАО», 2021. — 6 с.
8. Инструкция по обеспечению пожарной безопасности в структурах ФГБУ «ВГИ» ИОТ-002-2019 // Нальчик: ФГБУ «ВГИ», 2019. — 12 с.
-