РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Проведение работ по искусственному рассеянию переохлажденных туманов в аэропортах наземными средствами с использованием жидкого азота

РД 52.11.638-2002

Дата введения 2003-01-01

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Центральной аэрологической обсерваторией (ЦАО) Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)

2 РАЗРАБОТЧИКИ Л.И. Красновская, канд. физ.-мат. наук, руководитель темы; А.Н. Хижняк, канд. техн. наук; Б.Н. Сергеев, канд. физ.-мат. наук; Н.Ю. Банкова

3 ВНЕСЕН Отделом активных воздействий и государственного надзора УСНК Росгидромета

4 УТВЕРЖДЕН Руководителем Росгидромета 19 июля 2002 г.

5 ОДОБРЕН Центральной комиссией по приборам и методам наблюдений (ЦКМП) Росгидромета, протокол № 2 от 28 апреля 2001 г.

6 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Центральным конструкторским бюро гидрометеорологического приборостроения (ЦКБ ГМП) за номером РД 52.11.638-2002

7 ВЗАМЕН "Методических указаний. Искусственное рассеяние переохлажденных туманов на аэродромах с помощью автоматизированной наземной пропановой системы" (М.: Гидрометеоиздат, 1985)

1 Область применения

Настоящие методические указания устанавливают правила проведения производственных работ по искусственному рассеянию переохлажденных туманов в аэропортах наземными средствами с использованием жидкого азота.

В основу настоящих методических указаний положены результаты многолетних теоретических и экспериментальных исследований процессов естественной эволюции переохлажденных туманов и их искусственного рассеяния (приложение А).

Настоящие методические указания предназначены для использования военизированными службами активных воздействий на гидрометеорологические процессы, специальными подразделениями в аэропортах, научно-исследовательскими учреждениями и другими организациями Росгидромета, осуществляющими работы по искусственному рассеянию переохлажденных туманов как на территории России, так и за рубежом.

2 Определения и сокращения

2.1 Определения

В настоящих методических указаниях применяются следующие термины с соответствующими определениями.

Азотный генератор - специальная криогенная установка для создания в переохлажденном тумане низкотемпературных струй азота для инициирования в нем процессов гомогенной конденсации водяного пара и мгновенного замораживания образовавшихся капель воды, в результате чего возникают ядра искусственной кристаллизации воды (ледяные кристаллы).

Активные воздействия на туман - преднамеренные изменения естественного хода эволюции тумана в желаемом направлении путем изменения в некоторой части его микрофизических характеристик или физических свойств.

Аэропорт - комплекс сооружений, предназначенный для приема, отправки воздушных судов и обслуживания воздушных перевозок, имеющий для этих целей аэродром, аэровокзал и другие

сооружения и необходимое оборудование [1].

Взлетно-посадочная полоса (ВПП) - часть аэродрома, предназначенная для разбега при взлете и пробега после посадки воздушных судов [1].

Дальность видимости - максимальное расстояние, с которого распознаются неосвещенные объекты (ориентиры) днем и световые ориентиры ночью [1].

Зона искусственного рассеяния - объем воздуха, в котором в результате искусственного воздействия видимость улучшилась до посадочного минимума.

Зона приземления - участок ВПП за ее порогом, предназначенный для первого касания ВПП приземляющимся самолетом [1].

Кристаллизующая эффективность - количество ледяных кристаллов, образующихся при введении в туман 1 г реагента.

Мобильный азотный генератор - азотный генератор, установленный на платформе транспортного средства.

Переохлажденная вода - вода, находящаяся в незамерзшем состоянии при отрицательной температуре воздуха.

Производительность азотного генератора - количество ледяных кристаллов, образующихся за 1 с.

Радиационный туман - туман, возникший над поверхностью почвы в результате радиационного выхолаживания (ночного летом и круглосуточного зимой) [1].

Реагент - вещество, использующееся для создания в переохлажденном тумане достаточно большого количества ядер искусственной кристаллизации воды (ледяных кристаллов).

Стационарный азотный генератор - азотный генератор, установленный на постоянное место.

2.2 Сокращения

ЦАО - Центральная аэрологическая обсерватория.

ВПП - взлетно-посадочная полоса.

АМСГ - авиационная метеорологическая станция (гражданская).

ИКАО - Международная организация гражданской авиации.

ГМЧЛ-Н-40 - генератор мелкодисперсных частиц льда наземный объемом 40 л.

НТМ - научно-техническое мероприятие.

3 Общие положения

3.1 Метод искусственного рассеяния переохлажденных туманов с использованием жидкого азота предназначен для улучшения условий взлета и посадки самолетов в условиях тумана. Он может быть использован также для искусственного рассеяния туманов на автодорогах, вертолетных площадках и горнолыжных трассах.

3.2 В настоящих методических указаниях определены метеорологические условия и другие факторы, при которых возможно получение положительного эффекта воздействия, даны перечень технических средств, необходимых для выполнения работ, и рекомендации по их размещению относительно взлетно-посадочной полосы (ВПП), по планированию и организации работ по рассеянию туманов.

3.3 В настоящих методических указаниях приведены краткие сведения о конструкции азотных генераторов, их основные технические характеристики, примерный расчет экономической эффективности рассеяния туманов в аэропорту (приложение Б), рекомендации по технике безопасности при работе с жидким азотом.

3.4 Настоящие методические указания предназначены для обучения персонала, выполняющего работы по искусственному рассеянию туманов в аэропортах, грамотному применению метода рассеяния туманов с использованием жидкого азота для повышения эффективности производственных работ.

4 Информация, необходимая для определения целесообразности и эффективности применения искусственного рассеяния тумана в конкретном аэропорту

4.1 Положительный эффект искусственного рассеяния тумана может быть получен только в случае воздействия на переохлажденные жидкокапельные или смешанные туманы, содержащие небольшое количество кристаллов льда.

4.2 Для решения вопроса о целесообразности и эффективности применения искусственного рассеяния тумана в конкретном аэропорту следует ознакомиться:

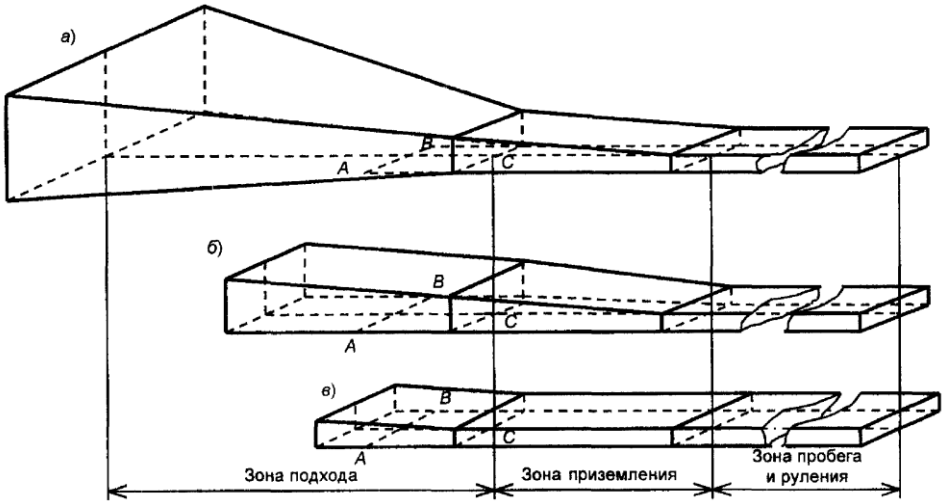
- с оснащением аэропорта средствами посадки самолетов по приборам;
- с климатическими характеристиками в дни с туманами;
- с расписанием рейсов самолетов.

4.2.1 От используемой в аэропорту системы посадки самолетов зависит категория погодного

минимума, а следовательно, объем и конфигурация пространства, которое должно быть освобождено от тумана, и требования к условиям видимости в нем.

Согласно классификации Международной организации гражданской авиации (ИКАО), погодные минимумы подразделяются на три существенно отличающиеся друг от друга категории.

На рисунке 1 представлены объемы и конфигурации пространства, соответствующие I, II и III категориям погодных минимумов по классификации ИКАО.



а - I категория (объем пространства составляет 14672700 м^3); *б* - II категория (объем пространства составляет 4116200 м^3); *в* – III категория (объем пространства составляет 2802600 м^3); *AB* - порог ВПП; *C* - точка касания

Рисунок 1 - Конфигурации и соответствующие им объемы пространства, которые должны быть освобождены от тумана при различных категориях погодных минимумов (по классификации ИКАО)

4.2.2 Климатические характеристики в дни с туманами позволяют получить информацию о повторяемости туманов при различных температуре, скорости и направлении ветра и условиях видимости, а также о повторяемости туманов по времени суток. Сопоставление этой информации с расписанием рейсов самолетов важно при решении вопроса о целесообразности проведения работ по рассеянию тумана.

4.3 Большую роль при рассеянии туманов играет производительность используемых азотных генераторов мелкодисперсных частиц льда. Как следует из результатов численного моделирования и практического применения метода рассеяния тумана с использованием жидкого азота, производительность азотных генераторов должна быть не менее $4 \cdot 10^{12}$ крист./с.

4.4 Наиболее важными метеорологическими величинами, определяющими возможность получения положительного эффекта воздействия, являются:

- вид и мощность тумана;
- температура воздуха *T* и вертикальный температурный градиент;
- скорость *V* и направление ветра;
- метеорологическая дальность видимости.

4.4.1 При использовании достаточно производительных азотных генераторов положительный эффект воздействия может быть получен при температуре ниже минус 0,5 °С. Нижним критерием применимости способа рассеяния туманов с использованием жидкого азота является температурная граница существования жидкокапельных туманов.

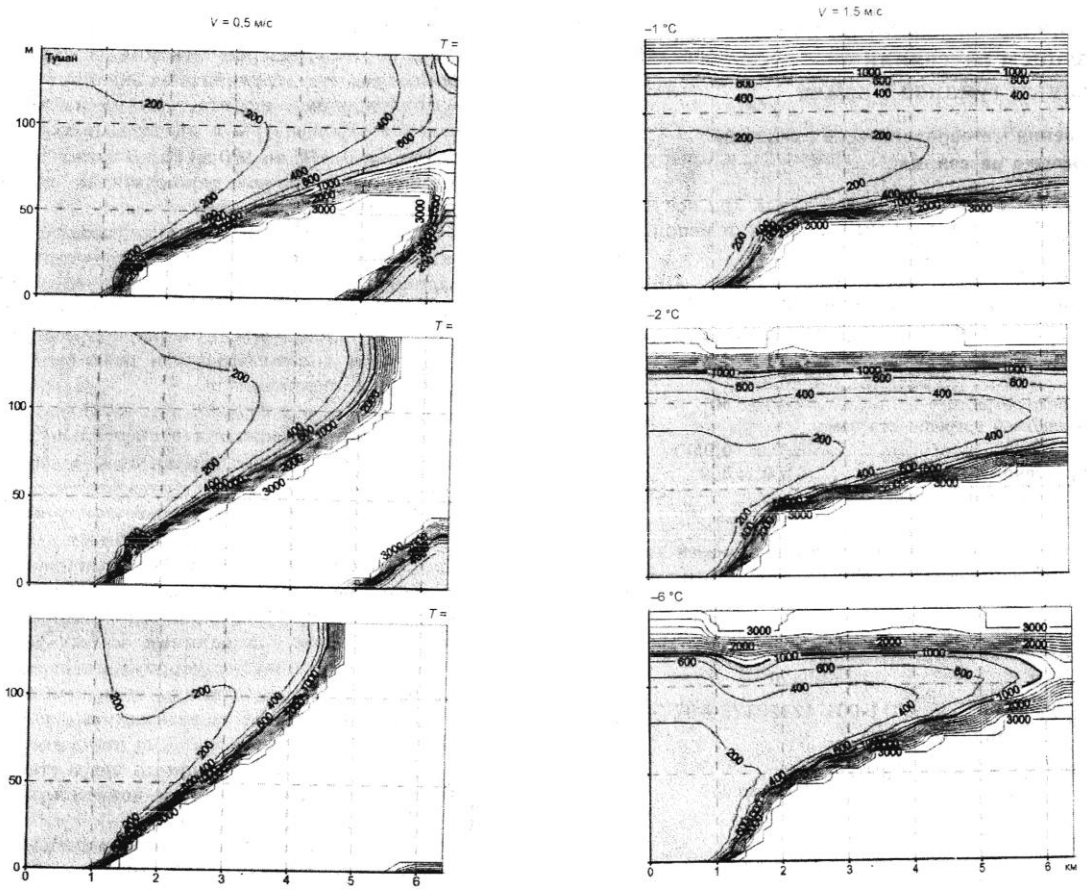
4.4.2 Значимость вертикального температурного градиента как фактора, определяющего возможность получения положительного эффекта искусственного рассеяния тумана, особенно возрастает, когда осуществляют воздействие на туман при температуре, близкой к пороговой. Вертикальный профиль температуры может быть определен с помощью профилемера или радиозондирования.

Обобщенные данные о вертикальном профиле температуры в различных видах туманов показывают, что в адвективных и находящихся в стадии стабилизации радиационных туманах в нижних слоях атмосферы (100-200 м) наблюдается падение температуры с высотой с градиентами 0,3-0,4 °С на 100 м, выше располагается инверсия. Нижняя граница инверсии практически совпадает с верхней границей тумана. В туманах, связанных с прохождением фронта, обычно наблюдается более быстрое падение температуры с высотой (с вертикальным

градиентом примерно 0,9 °С на 100 м) [2]. В таких случаях существуют благоприятные условия для развития процесса искусственного рассеяния тумана.

В некоторых случаях складываются такие метеорологические условия, которые обычно наблюдаются в формирующемся радиационном тумане, когда инверсия температуры начинается непосредственно от поверхности земли. Тогда при температуре, близкой к пороговой, уже на небольшой высоте температура становится положительной и развитие процесса рассеяния по вертикали прекращается.

Примеры вертикальных сечений зон искусственного рассеяния, их местоположения относительно стационарных азотных генераторов с производительностью $4 \cdot 10^{12}$ крист./с при различных метеорологических условиях приведены на рисунке 2.



Генератор находится в точке 1 км, время воздействия 60 мин

Рисунок 2 - Вертикальные сечения зон искусственного рассеяния (светлый фон) при различных метеорологических условиях

4.4.3 Численные эксперименты показывают, что искусственное рассеяние переохлажденных туманов возможно при температуре ниже пороговой и практически при любой скорости ветра, однако конфигурация зоны рассеяния и ее удаление от азотных генераторов меняются с увеличением скорости ветра. В связи с этим при наличии особых условий на конкретном объекте (ограниченная территория аэропорта, невозможность размещения оборудования за ее пределами, определенное количество установок) могут возникнуть ограничения в применении метода по скорости ветра. Для каждого объекта они будут различны. В этом случае скорость ветра становится существенным фактором, ограничивающим возможность получения положительного эффекта воздействия.

Особо благоприятными для применения метода искусственного рассеяния тумана с использованием жидкого азота (азотной технологии) являются температура ниже минус 0,5 °С и скорость ветра не более 1 м/с.

5 Технические средства, используемые при искусственном рассеянии переохлажденных туманов с земли

5.1 Средства измерения метеорологических величин и контроля эффекта рассеяния

5.1.1 Для измерения метеорологических величин при искусственном рассеянии

переохлажденных туманов с земли используют следующие технические средства.

1. Автоматическую метеорологическую станцию типа КРАМС-М - 1 шт. Ее характеристиками являются:

Диапазон измерения температуры, °С	От минус 50 до 50
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения температуры, °С	±0,2
Диапазон измерения скорости ветра, м/с	От 1 до 40
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения скорости ветра, м/с	$\pm(0,5 + 0,05V)$
Диапазон измерения направления ветра, ...°	От 0 до 360
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения направления ветра, %	±10

2. Регистратор метеорологической дальности видимости типа РДВ-3 по ТУ 25-04-1901-73 - 3 шт. Его характеристиками являются:

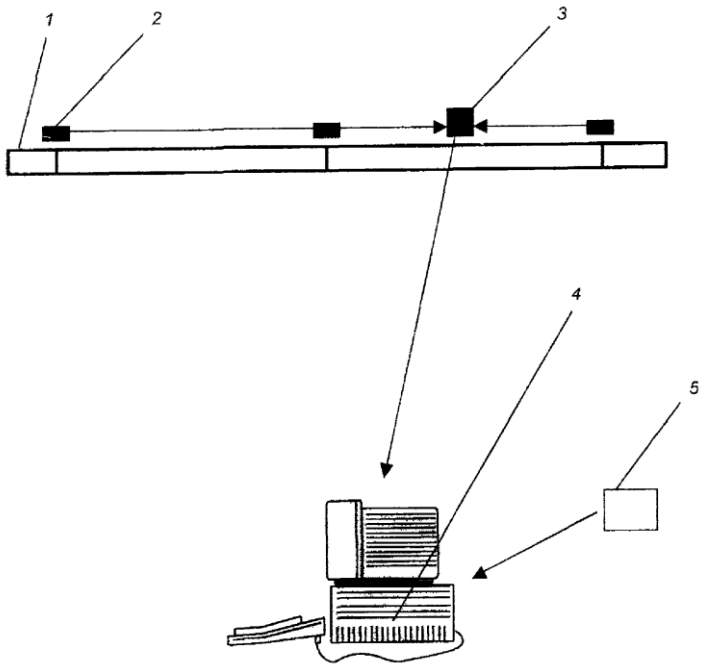
Диапазон измерения дальности видимости, м	От 50 до 600
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения дальности видимости, %	±20

3. Профилемер МПТ-5 по ТУ 4311-001-42450473-97 - 1 шт. Его характеристиками являются:

Диапазон высоты измерения профилей температуры, м	От 0 до 600
Вертикальное разрешение, м	30
Чувствительность (при постоянной интегрирования 1 с), °С	0,05
Предельная погрешность восстановления профилей температуры, °С	0,5
Периодичность измерений, 1/с	1/120

5.1.2 Все средства измерения должны быть подключены к находящемуся в центре управления компьютеру, в котором обрабатывается получаемая информация с представлением результатов оператору в удобном для анализа виде.

На рисунке 3 представлена схема расположения средств измерения в аэропорту.



1 - ВПП; *2* - регистраторы дальности видимости; *3* - автоматическая метеорологическая станция; *4* - компьютер; *5* - профилемер

Рисунок 3 - Схема расположения средств измерения на территории аэропорта

5.2 Технические средства, применяемые для введения реагентов в туман

5.2.1 Для введения реагентов в туман применяют:

- стационарные азотные генераторы на основе больших емкостей;
- мобильные азотные генераторы.

В зависимости от условий на конкретном объекте (продолжительности и повторяемости туманов, размера территории летного поля аэропорта, оснащения средствами посадки самолетов по приборам, наличия дорог вокруг ВПП и др.) может использоваться тот или иной тип генераторов или несколько типов одновременно.

5.2.1.1 Стационарные азотные генераторы на основе больших емкостей (более 1000 л) используются в составе наземных стационарных комплексов и отвечают всем требованиям, которые предъявляются при проведении работ по рассеянию туманов. Недостатком стационарных азотных генераторов является их высокая стоимость, при этом 90% стоимости приходится на емкость для хранения жидкого азота. Как следует из натурных и численных экспериментов, стационарные азотные генераторы должны удовлетворять следующим требованиям:

а) время непрерывной работы (без дозаправки) должно составлять несколько суток, т.е. емкость для хранения жидкого азота должна вмещать не менее 1000 л;

б) включение и выключение генераторов должны выполняться дистанционно, например по радиоканалу;

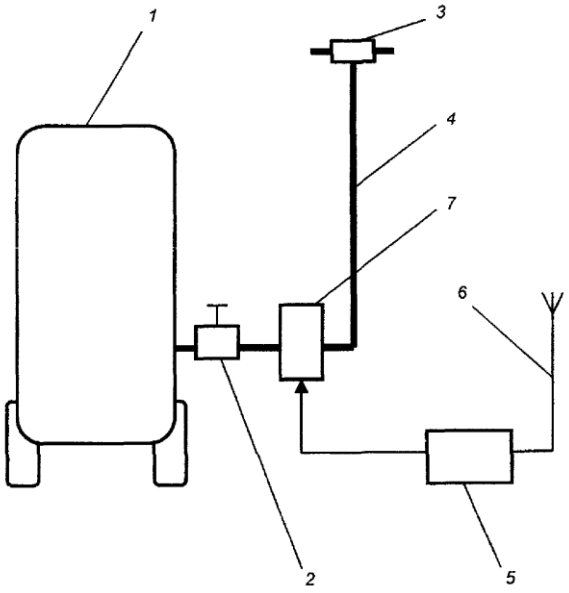
в) кристаллизующая эффективность одного генератора должна быть не менее $4 \cdot 10^{11}$ крист./г ;

г) производительность одного генератора должна быть не менее $4 \cdot 10^{12}$ крист./с;

д) изменение производительности генератора должно осуществляться дистанционно.

На рисунке 4 представлена схема наземного стационарного азотного генератора с дистанционным управлением. Он состоит из емкости для хранения жидкого азота *1*, коаксиального трубопровода *4*, одновременно являющегося штангой, на конце которой расположен блок диспергирования *3*. Рабочее давление в емкости для хранения жидкого азота составляет (2-2,5) кгс/см^2.

Дистанционное включение и выключение стационарного азотного генератора производится с помощью вентиля с электроприводом *7*. При поступлении команды через периферийную радиостанцию устройство управления *5* вырабатывает сигнал, который позволяет исполнительному устройству *7* открыть доступ жидкого азота к блоку диспергирования *3*. В соответствии с метеорологическими условиями стационарный азотный генератор включают с необходимой производительностью. Общий вид стационарного азотного генератора представлен на рисунке 5.



1 - емкость для хранения жидкого азота; *2* - штатный запорный вентиль (раздаточный); *3* - блок диспергирования жидкого азота; *4* - коаксиальный трубопровод; *5* - устройство управления с периферийной радиостанцией; *6* - антенна; *7* - вентиль с электроприводом (исполнительное устройство)

Рисунок 4 - Схема наземного стационарного азотного генератора с дистанционным управлением

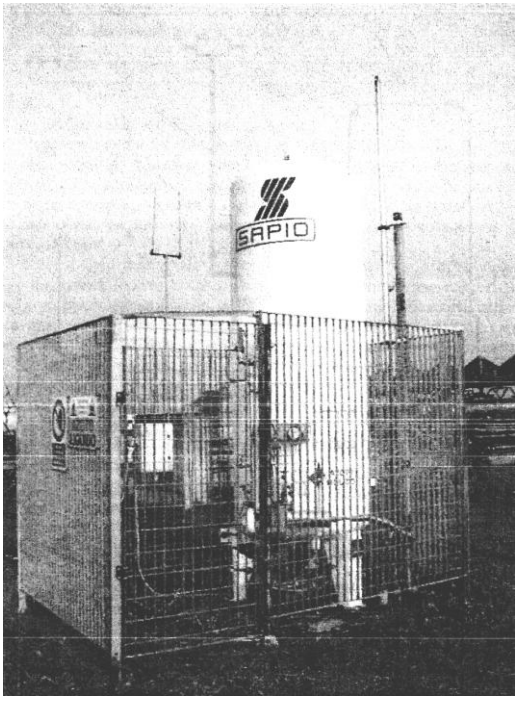


Рисунок 5 - Общий вид стационарного азотного генератора

5.2.1.2 Мобильный азотный генератор (рисунок 6) представляет собой азотный генератор, смонтированный на платформе транспортного средства. Он может быть использован непосредственно при движении. В мобильном генераторе в качестве емкости для азота используется цистерна, вмещающая 500 л жидкого азота.



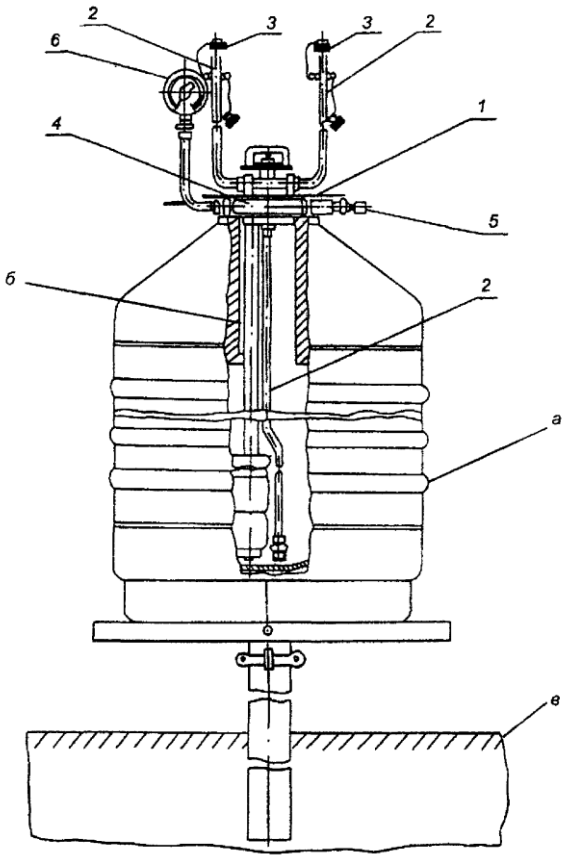
Рисунок 6 - Общий вид мобильного азотного генератора

5.2.1.3 На этапе разработки схем размещения генераторов на объекте может быть использован простейший образец устройства для инициирования в тумане достаточно большого количества микрокристаллов льда за счет диспергирования жидкого азота - генератор мелкодисперсных частиц льда наземный объемом 40 л (далее ГМЧЛ-Н-40). Для его работы не требуется источников питания, он имеет небольшую массу, отличается простотой в эксплуатации, небольшой стоимостью. К недостаткам такого устройства следует отнести невозможность дистанционного включения и выключения, необходимость перезаправки емкостей при длительном воздействии на туман.

Генератор ГМЧЛ-Н-40 (рисунок 7) состоит из сосуда Дьюара СК-40 *а*, специальной насадки *б*, которая применяется вместе с сосудом только во время работы, и специальной подставки в.

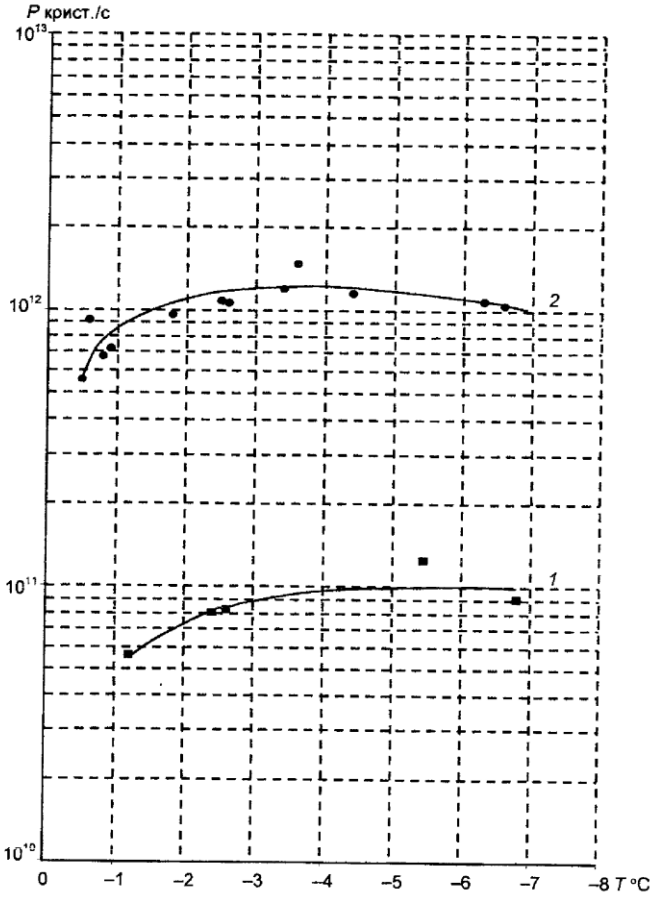
Насадка б вставляется в заполненный жидким азотом сосуд перед началом воздействия. Она состоит из радиатора *1* для создания и поддержания избыточного давления в сосуде, трубопровода *2* для забора, испарения и распыления жидкого азота с помощью специальных форсунок *3*, узла герметичного крепления насадки к сосуду *4*, предохранительного клапана *5* и манометра *6* для контроля и обеспечения безопасности работы. Азотный генератор ГМЧЛ-Н-40 позволяет устанавливать (до начала работы) расход жидкого азота в пределах от 1,5 до 12,0 кг/ч и может непрерывно работать при минимальном расходе до 20 ч. Масса генератора в полностью снаряженном состоянии не превышает 50 кг, поэтому для его установки на местности достаточно двух операторов. Применение генераторов данного типа целесообразно на стадии отработки схем размещения азотных генераторов вокруг ВПП согласно [3].

Данные лабораторных измерений производительности блока диспергирования стационарного азотного генератора и азотного генератора ГМЧЛ-Н-40 представлены на рисунке 8.



а - сосуд Дьюара СК-40; *б* - насадка: *1* - радиатор, *2* - трубопровод, *3* - форсунки, *4* - узел герметичного крепления насадки, *5* - предохранительный клапан, *6* - манометр; *в* – подставка

Рисунок 7 - Устройство азотного генератора ГМЧЛ-Н-40



1 - азотный генератор ГМЧЛ-Н-40; *2* - стационарный азотный генератор

Рисунок 8 - Зависимость производительности *P* блока диспергирования азотных генераторов от температуры *T*

6 Разработка схемы размещения азотных генераторов на конкретном объекте

6.1 Правильный выбор схемы размещения азотных генераторов в районе объекта, на котором планируется проводить работы по искусственному рассеянию туманов, является одним из главных условий получения положительного эффекта воздействия.

6.2 Разработка схемы размещения азотных генераторов производится на основе сведений о характерных для данного объекта значениях метеорологических величин в дни с туманами, о техническом оснащении аэропортов системами посадки самолетов, о количестве ВПП, их ориентации, длине и ширине. Поэтому в данном разделе изложены основные принципы построения таких схем и приведены необходимые исходные данные.

6.3 Техническое оснащение аэропортов системами посадки самолетов определяет требования к конфигурации зоны искусственного рассеяния и условиям видимости в ней. В основном до 1997 г. в аэропортах использовались системы посадки ILS (Instrument Landing System), позволяющие производить посадку при погодных минимумах, подразделяющихся на 3 категории по классификации ИКАО. Согласно рисунку 1, для каждой категории объем пространства, который необходимо освободить от тумана (раскрываемый объем), будет различным.

Как следует из рисунка 1, пространство, которое необходимо освободить от тумана, можно разделить на 3 зоны, где требования к конфигурации раскрываемого объема и условиям видимости в нем будут различны. Параметры этих зон приведены в таблице 1, согласно [4].

6.4 Стационарные азотные генераторы следует располагать вдоль линий, перпендикулярных преобладающему направлению ветра, на расстояниях, выбранных в соответствии с данными о скорости ветра и температуре с учетом требований к конфигурации раскрываемого объема. В связи с этим при разработке схем размещения азотных генераторов необходимо иметь данные:

- о преобладающем направлении и скорости ветра в дни с туманами:
- об общем диапазоне изменения скорости ветра и температуры в дни с туманами;
- о структуре и размерах зон искусственного рассеяния и их местоположении относительно азотных генераторов в различных метеорологических условиях.

Таблица 1

Параметры зон (м) при посадке по категориям погодных минимумов, согласно классификации ИКАО

Категория погодного минимума	Зона											
	подхода				приземления				пробега и руления			
	Длина	Ширина	Высота	Дальность видимости	Длина	Ширина	Высота	Дальность видимости	Длина	Ширина	Высота	Дальность видимости
I	1470	170	60	800	750	60	20	800	2000	60	10	200
II	790	80	30	400	750	60	20	400	2000	60	10	200
III	440	60	15	200	750	60	15	200	2000	60	10	200

Эти данные могут быть получены в результате статистической обработки архивов почасовых метеорологических измерений за период не менее 10 лет или из климатических описаний аэропортов, а также из материалов численных и натурных экспериментов.

6.5 Количество азотных генераторов определяют для каждого аэропорта индивидуально. Ориентировочное количество стационарных генераторов составляет 30-40 шт.

6.6 При разработке схем размещения стационарных азотных генераторов учитывают наличие дорог вблизи ВПП. Если таковые имеются, то размещают азотные генераторы вдоль них.

6.7 Имеющиеся в настоящее время экспериментальные данные о структуре и размерах зон искусственного рассеяния переохлажденных туманов и об их местоположении относительно стационарных азотных генераторов не охватывают весь диапазон метеорологических условий, характерных для образования туманов. Недостающие сведения могут быть получены из численных экспериментов с использованием моделей, достаточно реалистично воспроизводящих процесс естественной эволюции и искусственного рассеяния тумана. Используемые в ЦАО модели тестировались с помощью данных об эволюции параметров приземного слоя при туманах различных видов, а также результатов натурных экспериментов по искусственному рассеянию туманов.

Численные эксперименты по моделированию процесса искусственного рассеяния тумана проведены в достаточно широком диапазоне метеорологических условий, и их результатами можно воспользоваться практически для любого объекта.

Численные эксперименты позволяют определить местоположение и геометрические параметры зон искусственного рассеяния в зависимости от средней скорости ветра, температуры, ее вертикального градиента и производительности азотных генераторов.

Обобщенные данные численных и натурных экспериментов по определению удаления от азотных генераторов тех областей зон искусственного рассеяния, где дальность видимости более 800 м достигается у земли, на высотах 30 и 60 м, при различных метеорологических условиях представлены в таблице 2. Данные таблицы относятся к случаю адвективного или стабилизировавшегося радиационного тумана, температурный градиент в котором 0,3 °С на 100 м. Время после воздействия составляет 30 мин, производительность стационарных азотных генераторов - $4 \cdot 10^{12}$ крист./с, расстояние между азотными генераторами - 200 м.

Таблица 2

Удаление от азотных генераторов зоны искусственного рассеяния с видимостью более 800 м при разной скорости ветра

Температура, °С	Удаление (м) при скорости ветра, м/с			
	0,5	1,0	2,0	3,0
		У земли		
-0,5	70	300	650	750
-1,0	30	230	520	650
-1,5	20	220	460	650
-2,0	20	190	400	550
-3,0	20	160	400	500
		На высоте 30 м		
-0,5	120	430	650	980

-1,0	80	280	570	800
-1,5	50	250	500	750
-2,0	30	230	400	750
-3,0	20	190	400	650
		На высоте 60 м		
-0,5	570	650	1050	1520
-1,0	480	550	800	1200
-1,5	400	520	600	1150
-2,0	400	400	650	1050
-3,0	370	400	650	900

6.8 Пользуясь таблицами 1 и 2, можно разработать схему размещения стационарных азотных генераторов относительно ВПП для аэропортов, осуществляющих посадку по погодным минимумам I и II категорий по классификации ИКАО.

Согласно таблице 1, в разных частях ВПП требования к параметрам зоны искусственного рассеяния различны. Вследствие этого размещение азотных генераторов в зонах подхода, приземления, а также пробега и руления будет отличаться. Как следует из таблицы 2, высота раскрываемого объема в зоне приземления может не превышать 20 м, а в зоне пробега и руления - даже 10 м. В то же время в зоне подхода высота раскрываемого объема должна быть не менее 30 м, если аэропорт работает по погодному минимуму, соответствующему II категории, и не менее 60 м в случае выполнения посадки по погодному минимуму I категории.

6.9 В большинстве случаев туманы наблюдаются в условиях штиля (при скорости ветра 0,5 м/с и менее), поэтому обязательным элементом схемы размещения азотных генераторов является "штилевое кольцо". В этом случае, учитывая большую изменчивость ветра при штиле по направлению, стационарные азотные генераторы должны быть установлены по обе стороны от ВПП. Удаление азотных генераторов от ВПП в различных ее зонах должно соответствовать значениям, приведенным в таблице 2. В зонах приземления и пробега и руления удаление стационарных азотных генераторов от ВПП должно составлять 20-70 м. В зоне подхода, если оборудование аэропорта позволяет производить посадку по требованиям II категории, стационарные азотные генераторы должны быть удалены от ВПП на расстояние 80-120 м.

6.10 Наряду с этим необходимо учитывать, что требования безопасности работы аэропортов не позволяют устанавливать предметы и сооружения высотой 4 м на расстоянии ближе чем 150 м от ВПП. В связи с этим в "штилевом кольце" как в зоне подхода, так и в зонах приземления и пробега стационарные азотные генераторы должны быть установлены на расстоянии 150 м от ВПП, если аэропорт позволяет производить посадку по требованиям II категории. Если аэропорт работает по погодному минимуму I категории, то удаление стационарных азотных генераторов от ВПП в зоне подхода должно составлять 500-600 м. В этом случае в условиях штиля при температуре от минус 0,5 до минус 3 °С зона улучшенной видимости будет находиться на ВПП.

6.11 Из таблиц 1 и 2 следует, что при скорости ветра от 0,5 до 1 м/с для получения положительного эффекта рассеяния на ВПП в зонах приземления и пробега стационарные азотные генераторы должны быть установлены по обе стороны от ВПП на расстоянии 160-300 м. В зоне подхода, если посадка выполняется по требованиям II категории, стационарные азотные генераторы должны быть расположены по обе стороны от ВПП на расстоянии 190-430 м. Если же погодный минимум аэропорта соответствует I категории, то в зоне посадки стационарные азотные генераторы следует размещать на расстоянии 400-650 м от ВПП.

Если в аэропорту при туманах преобладает ветер скоростью около 2 м/с, то удаление стационарных азотных генераторов от ВПП в зонах приземления и пробега должно составлять 400-650 м. Для аэропортов, позволяющих производить посадку по требованиям II категории, удаление стационарных азотных генераторов в зоне подхода должно быть таким же. Если посадка производится по требованиям I категории, то стационарные азотные генераторы следует разместить на расстоянии 650-1050 м от ВПП.

При скорости ветра 3 м/с в зонах приземления и пробега удаление стационарных азотных генераторов от ВПП должно составлять 500-750 м. В зоне подхода при погодном минимуме, соответствующем II категории, удаление должно составлять 650-980 м. Если оборудование аэропорта позволяет производить посадку при погодном минимуме I категории, то стационарные азотные генераторы в зоне подхода должны быть размещены на расстоянии 900-1520 м от ВПП.

6.12 Опыт практического использования искусственного рассеяния переохлажденных туманов показывает, что ветер скоростью 2-3 м/с при туманах наблюдается редко, поэтому нет смысла устанавливать дополнительные стационарные азотные генераторы на расстояниях, соответствующих этим условиям (согласно таблице 2). В таких случаях целесообразно использовать мобильные азотные генераторы, перемещающиеся по заранее выбранным в зависимости от направлений ветра маршрутам.

6.13 Численные и натурные эксперименты показывают, что протяженность зоны искусственного рассеяния по направлению ветра составляет несколько километров. Это позволяет совместить "штилевое кольцо" с местом расположения стационарных азотных установок, которое рекомендуется для скорости ветра от 0,5 до 1,0 м/с.

7 Планирование и организация работ по рассеянию тумана в аэропортах

7.1 Эффективность искусственного рассеяния туманов в значительной мере зависит от оперативности начала работ при возникновении тумана. Для этого необходима информация, позволяющая оценить вероятность появления тумана с достаточной степенью достоверности. При работах в аэропортах ее получают из анализа синоптических карт и прогнозов, имеющихся на АМСГ аэропорта. В случае прогнозирования появления тумана необходимо привести в полную готовность все оборудование, заправить емкости жидким азотом. Кроме самого факта возможного появления тумана, следует оценить приближенно такие метеорологические величины в тумане, как температура, скорость и направление ветра. Необходимо вести непрерывный контроль за такими параметрами приземного слоя атмосферы, как температура, профиль температуры, скорость и направление ветра, дальность видимости. При появлении тумана анализ этой информации служит основанием для принятия решения о целесообразности воздействия, выработки оперативного плана проведения работ.

В процессе воздействия на основе этой информации проводится корректировка выбранной схемы размещения азотных генераторов.

7.2 Общее руководство работами по искусственному рассеянию тумана осуществляют в специально организованном центре управления, где проводится мониторинг всей метеорологической информации, имеется возможность получения краткосрочной прогностической информации по сети Интернет и обеспечивается связь с представителями службы движения аэропорта.

7.3 Решение о проведении воздействия принимается руководителем работ по согласованию с представителем службы движения аэропорта.

Последовательность операций, выполняемых в процессе подготовки и проведения работ по искусственному рассеянию тумана, представлена на рисунке 9.

7.4 Контроль эффективности воздействия производится как визуально, так и по измерительным приборам, имеющимся на АМСГ аэропорта.

Визуально отмечаются появление кристаллов в тумане и осаждение их на землю, оцениваются концентрация и размеры кристаллов. По приборам видимости контролируется процесс рассеяния тумана.

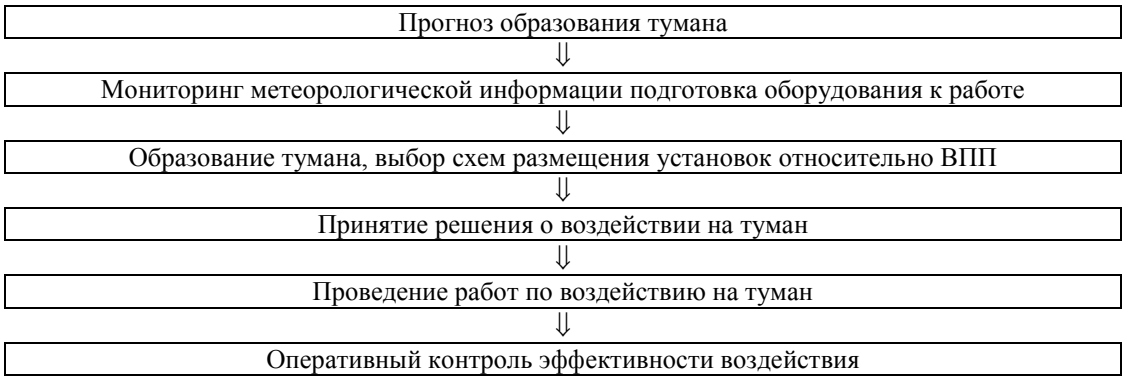


Рисунок 9 - Последовательность операций при подготовке и проведении работ по искусственному рассеянию тумана

8 Оценка эффективности работ по рассеянию тумана

В настоящее время нет единой утвержденной методики оценки экономической эффективности работ по искусственному рассеянию туманов в аэропортах.

Для приближенной оценки экономической эффективности может быть использована разработанная ЦАО совместно с аэропортом Шереметьево методика определения экономической эффективности от внедрения научно-технического мероприятия по рассеянию переохлажденных туманов в аэропорту Шереметьево (приложение Б).

9 Правила безопасности при проведении работ

9.1 Общие положения

9.1.1 Четкие знания и неукоснительное выполнение правил и норм безопасности обеспечивают сохранение здоровья персонала, обслуживающего наземные системы стационарных и мобильных азотных генераторов, а также случайно соприкасающихся с указанным оборудованием людей.

9.1.2 Жидкий азот относится к наиболее экологически безопасным реагентам, но его практическое использование может быть связано с травмами. В обычных условиях он интенсивно испаряется, образуя нейтральный газ, который при работе в закрытых помещениях может быть вреден тем, что уменьшает парциальное давление кислорода в легких человека и вызывает удушье. При попадании жидкого азота на открытые части тела возможно обморожение.

9.2 Требования безопасности при работе с жидким азотом

9.2.1 Все лица, участвующие в работах со стационарными и мобильными азотными генераторами, должны знать устройство и правила эксплуатации емкостей для хранения азота.

9.2.2 При заполнении емкостей необходимо избегать попадания жидкого азота на открытые части тела. Следует использовать индивидуальные средства защиты: кожаные перчатки, защитные очки, кожаный фартук.

9.2.3 При использовании больших емкостей с давлением 2,5-3,0 кгс/см^2 необходимо соблюдать правила работы с сосудами под давлением. Место установки азотных генераторов с большой емкостью для хранения жидкого азота должно иметь ограждение с предупреждающими надписями.

9.2.4 При проведении работ по рассеянию туманов в аэропортах необходимо строго выполнять правила поведения на территории летного поля.

Приложение А
(справочное)

Физические основы искусственного рассеяния переохлажденных туманов с использованием жидкого азота

А.1 Введение

А1.1 Несмотря на значительный прогресс в авиационной технике и развитии навигационных систем, туманы до настоящего времени наносят ощутимый ущерб даже развитым в экономическом отношении странам, нарушая работу авиационного транспорта. Применение современных систем посадки самолетов позволяет существенно снизить ущерб, наносимый туманом, однако установка и эксплуатация таких систем целесообразны только в крупных аэропортах. В последние годы в ряде стран наблюдается быстрый рост использования малой авиации и, следовательно, создание сети небольших аэропортов, где применение систем посадки высокой категории экономически не оправдано. В то же время во многих районах наиболее тумано-опасными являются зимние месяцы, когда большая часть туманов наблюдается при температуре ниже 0 °С и может быть рассеяна с помощью сравнительно недорогих и практически опробованных технологий.

А.1.2 С 1986 г. в ЦАО были начаты исследования, направленные на создание технологии искусственного рассеяния тумана с использованием в качестве реагента жидкого азота, согласно [3]. Были разработаны опытный образец азотного генератора ГМЧЛ-Н-40 и методика его применения.

А.1.3 Работы по искусственному рассеянию переохлажденных туманов в аэропортах Алма-Ата и Шереметьево, проведенные в 1989-1993 гг., выявили необходимость усовершенствования как азотных генераторов, так и методики их применения, согласно [6].

А.1.4 Обобщение результатов многочисленных полевых экспериментов, производственных работ и выполненных в ЦАО лабораторных исследований процессов кристаллизации и численного моделирования процессов рассеяния туманов позволило сформулировать научные основы технологии искусственного рассеяния туманов и определить направление усовершенствования азотных генераторов.

А.2 Физические процессы, происходящие при искусственном рассеянии переохлажденных туманов

А.2.1 В основе методов рассеяния переохлажденных туманов лежит использование существующих в атмосфере неустойчивых состояний, в частности неустойчивости

переохлажденного тумана по отношению к фазовому переходу вода-лед.

А.2.2 Все современные практически используемые способы рассеяния переохлажденных туманов основаны на существовании разности давлений насыщения водяного пара над водой и надо льдом. Основным принципом, положенным в основу всех методов воздействия на туманы, является создание в тумане искусственным путем требуемого количества центров кристаллизации воды (ледяных кристаллов).

А.2.3 Неустойчивость переохлажденных туманов по отношению к фазовому переходу вода-лед связана с тем, что при температуре ниже 0 °С вследствие структурных особенностей льда и воды на молекулярном уровне свободная энергия льда меньше энергии жидкой воды. Благодаря этому при отрицательной температуре давление насыщения водяного пара над жидкой водой больше, чем надо льдом. По этой причине если в переохлажденный туман попадут ледяные кристаллы, то они окажутся в условиях перенасыщения и будут расти за счет поглощения водяного пара из окружающего пространства. При достаточно большой концентрации ледяных кристаллов капли окажутся в условиях недонасыщения водяным паром и начнут испаряться. Конечный результат этого процесса зависит от соотношения количества ледяных кристаллов и капель. Если ледяных кристаллов сравнительно немного, то они вырастают до размеров частиц осадков и выпадают, не вызывая существенных изменений условий видимости. Если ледяных кристаллов слишком много, процесс заканчивается полной кристаллизацией тумана, при этом устойчивость тумана возрастает. Оптимальное соотношение ледяных кристаллов и капель определяется в натурных и численных экспериментах.

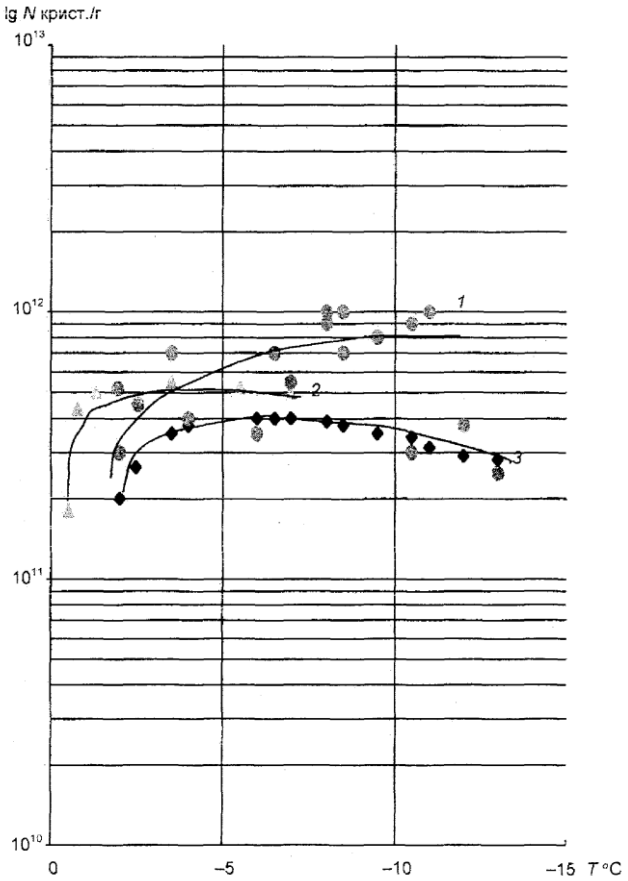
А.2.4 Разность давлений насыщения пара над водой и надо льдом зависит от температуры [7]:

Температура, °С	0	-4	-8	-12	-16	-20
Разность давлений насыщения водяного пара над водой и надо льдом, гПа	0,0	0,17	0,25	0,27	0,25	0,22
Температура, °С	-24	-28	-32		-36	-40
Разность давлений насыщения водяного пара над водой и надо льдом, гПа	0,19	оде	0,11	11	0,08	0,06

Отсюда следует, что разность давлений насыщения пара над водой и надо льдом быстро возрастает при понижении температуры от 0 до минус 8 °С, достигает максимума при температуре от минус 8 до минус 16 °С и убывает при более низкой температуре. В связи с этим наибольшая скорость роста кристаллов наблюдается при температуре от минус 8 до минус 16 °С, наименьшая - при температуре, близкой к нулю.

А.3 Реагенты, используемые для искусственного рассеяния переохлажденных туманов наземными способами

А.3.1 К настоящему времени разработаны и прошли испытания различные способы создания в переохлажденном тумане необходимого количества ледяных кристаллов. Они основаны на введении в туман веществ, позволяющих создать в нем зоны глубокого охлаждения насыщенного водяным паром воздуха. Для этой цели могут быть использованы углекислота CO_2, пропан, сжатый воздух, жидкий азот. В США в настоящее время применяются жидкий пропан и жидкая углекислота. Российская технология искусственного рассеяния переохлажденных туманов основана на использовании в качестве реагента жидкого азота (азотная технология).



1 - углекислота; *2* - азот; *3* - пропан

Рисунок А.1 - Зависимость кристаллизующей эффективности *N* пропана, азота и жидкой углекислоты от температуры *T*

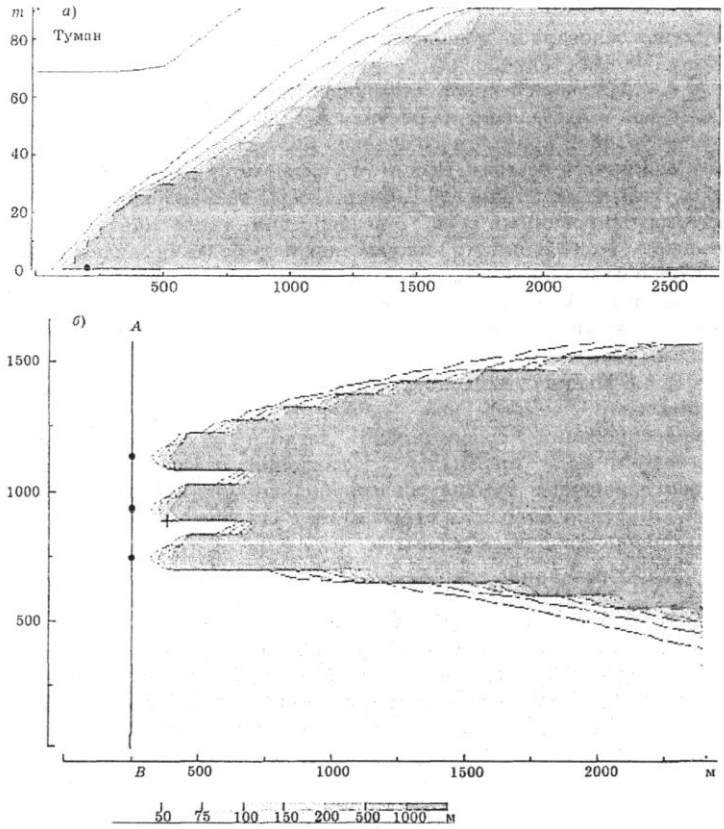
А.3.2 Данные о кристаллизующей эффективности различных реагентов представлены на рисунке А.1, согласно [8]. В зависимости от условий конкретного объекта может быть предпочтителен тот или другой реагент. При этом учитывается ряд дополнительных требований: стоимость, дефицитность, возможность создания автоматизированных средств воздействия, экологическая безопасность. По большинству из указанных требований жидкий азот выгодно отличается от остальных перечисленных реагентов. Он является наиболее экологически чистым, пожаро- и взрывобезопасным, химически инертным, относительно недорогим, недефицитным реагентом.

А.3.3 Низкая температура кипения азота (минус 196 °С) при нормальном атмосферном давлении позволяет при его диспергировании сравнительно легко, без использования значительных перепадов давления, создавать в переохлажденном тумане области больших перенасыщений за счет смешения холодных струй азота с окружающим воздухом, насыщенным водяным паром.

А.4 Образование зон искусственного рассеяния в тумане

А.4.1 Азотная технология искусственного рассеяния тумана основана на том, что при диспергировании жидкого азота в локальных участках тумана, непосредственно около азотных генераторов, создаются низкотемпературные зоны, в которых за счет больших перенасыщений водяного пара образуются ледяные кристаллы микронных размеров. Эти кристаллы с помощью турбулентной диффузии распространяются в переохлажденном тумане, растут за счет разности давлений насыщения водяного пара над водой и надо льдом и выпадают в виде твердых осадков. В результате капли тумана испаряются и образуются зоны искусственного рассеяния.

А.4.2 В настоящее время имеется мало данных о структуре и размерах зон искусственного рассеяния в туманах, полученных при использовании наземных стационарных азотных генераторов. Представление о структуре таких зон может быть получено с помощью численного моделирования процесса искусственного рассеяния тумана в различных метеорологических условиях, результаты которого приведены в [5]. На рисунке А.2 приведены результаты численного эксперимента по определению геометрических параметров зоны искусственного рассеяния в тумане и условий видимости в ней при скорости ветра 3 м/с и температуре минус 1 °С.



а - вертикальное сечение зоны по направлению оси зоны от одного источника;
б - горизонтальное сечение зоны, образовавшейся от действия 3 азотных генераторов, установленных на расстоянии 200 м друг от друга, *AB* - линия расположения генераторов

Рисунок А.2 - Геометрические параметры зоны искусственного рассеяния (темный фон) и распределение дальности видимости в ней при скорости ветра 3 м/с и температуре минус 1 °С

Приложение Б
(рекомендуемое)

Методика определения экономической эффективности от внедрения научно-технического мероприятия по рассеянию переохлажденных туманов в аэропорту Шереметьево

Б.1 Общие положения

Цель научно-технического мероприятия (НТМ) сводится к экономии на условно-постоянных расходах при росте производительного налета (вследствие сокращения отмен и задержек рейсов). Снижение непроизводительных расходов, вызванных уходами на запасные аэродромы, приводит к росту коммерческой загрузки, увеличению производительности самолета, а следовательно, увеличению объема перевозок.

Цель данной методики - дать обоснование увеличению эффективности, ожидаемому в случае, если НТМ будет реализовано.

Б.2 Модель расчета

Аэропорт несет эксплуатационные затраты, которые делятся на две группы: затраты на летную эксплуатацию и затраты на техническую эксплуатацию. Однако ни один из указанных видов затрат не может полно определить эффективность от внедрения НТМ. Очевидно, только себестоимость результатов работы может позволить дать такую оценку. В качестве показателя себестоимости в гражданской авиации используется стоимость тонно-километра ($C_{\text{т.км}}$) или стоимость летного часа ($C_{\text{л.ч}}$).

Снижение себестоимости летного часа за счет внедрения НТМ можно определить следующим образом:

$$\Delta C^{\text{м}}_{\text{л.ч}} = C_{\text{л.ч}} Д_{\text{ш.з}} (1 - 1/I_{\text{р}}) + \Delta C_{\text{н.р}}\,, \qquad \text{(Б.1)}$$

$$\Delta C_{н.р} = H_{гу} C_{л.ч} V_р / L_{б.п}, \quad (Б.2)$$

$$H_{гу} = K_у T_у \quad (Б.3)$$

где $Д_{ш.з}$ - доля условно независящих от объемов перевозок расходов в себестоимости перевозок;

$I_р$ - индекс роста объема авиаперевозок вследствие роста годового налета;

$\Delta C_{н.р}$ - снижение себестоимости летного часа за счет устранения непроизводительных расходов;

$H_{гу}$ - удельные потери времени в связи с уходами на запасной аэродром по метеорологическим условиям аэропорта;

$V_р$ - рейсовая скорость;

$L_{б.п}$ - средняя дальность беспосадочного полета самолета;

$K_у$ - коэффициент ухода на запасной аэродром;

$T_у$ - средние потери времени из-за ухода самолета на запасной аэродром по туману.

Коэффициент ухода на запасной аэродром $K_у$ устанавливается с учетом средней наблюдаемости закрытия аэропорта по туману μ. А средние потери времени из-за ухода самолета на запасной аэродром по туману $T_у$ определяют исходя из средней дальности ухода на запасной аэродром и рейсовой скорости $V_р$.

Индекс роста определяют следующим образом:

$$I_р = \left[1 - \frac{(H_{гз} + H_{гу} K_{л.в} V_р}{L_{б.п}}\right] \Delta\gamma_к , \quad (Б.4)$$

$$\Delta\gamma_к = 2(r_{з.р} K_в + r_{о.р} K_{отм}) \Delta\mu\gamma_к / 100, \quad (Б.5)$$

где $H_{гу}$ - удельное время задержки взлета самолетов по туману;

$K_{л.в}$ - коэффициент летного времени, показывающий долю возможного производительного налета при внедрении НТМ;

$\Delta\gamma_к$ - индекс увеличения среднего коэффициента коммерческой загрузки, обеспечиваемый регулярностью полетов;

$\gamma_к$ - средний коэффициент коммерческой загрузки, %;

$r_{з.р}$, $r_{о.р}$ - коэффициенты задержки и отмены рейса, определяемые по регрессионным зависимостям;

$K_в$ - коэффициент возврата билетов при задержке рейсов;

$K_{отм}$ - коэффициент возврата билетов при отмене рейсов;

$\Delta\mu$ - снижение потерь времени по туману.

Удельное время задержки взлета самолетов по туману определяется по формуле

$$H_{гз} = 2 K_{з.р} T_з, \quad (Б.6)$$

где $K_{з.р}$ - коэффициент задержки рейса, устанавливаемый с учетом средней наблюдаемости закрытия аэропорта по туману μ;

2 - коэффициент, учитывающий парность рейсов;

$T_з$ - среднее время задержки рейса.

Снижение себестоимости летного часа $\Delta C^{топ}_{л.ч}$ за счет экономии топлива определяется следующим образом:

$$\Delta C^{топ}_{л.ч} = C_{л.ч} Д_{г.с.м} \Delta q_{топ} / 100 , \quad (Б.7)$$

где $Д_{г.с.м}$ - доля затрат на авиатопливо в себестоимости летного часа;

$\Delta q_{топ}$ - изменение удельного расхода авиатоплива вследствие внедрения НТМ.

При определении приростного экономического эффекта сопоставляются два варианта:

1) базовый - предусматривает традиционную работу аэропорта;

2) новый - предусматривает работу аэропорта с внедрением НТМ.

Экономический эффект по первому варианту определяется превышением стоимости результатов над затратами:

$$Э_б = Р_б - З_б \quad (Б.8)$$

Экономический эффект по второму варианту зависит от условий реализации НТМ:

$$Э_{мер} = Р_{мер} - З_{мер} \quad (Б.9)$$

Здесь $Э_б$ и $Э_{мер}$ - экономический эффект соответственно до и после внедрения мероприятия;

$Р_б$ и $Р_{мер}$ - стоимостная оценка результатов соответственно без мероприятия и с мероприятием;

$З_б$ и $З_{мер}$ - стоимостная оценка затрат соответственно без мероприятия и с мероприятием.

Тогда приростной экономический эффект определяется следующим образом:

$$\Delta Э = Э_{мер} - Э_б. \quad (Б.10)$$

Приложение В
(справочное)

Библиография

1 Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА-95). - М., 1995. - 156 с.

2 Кошеленко И.В. Туманы // Тр. УкрНИИ. - 1977. - Вып. 155. -С. 155.

3 Власюк М.П., Мукий Н.Г., Черников А.А. Искусственное рассеяние переохлажденных туманов в аэропортах с использованием жидкого азота // Метеорология и гидрология. - 1995. - № 4. - С. 53-65.

4 Травин У. Борьба с туманами на аэродромах // Зарубежное военное обозрение. - 1985. - № 10. - С. 51-55.

5 Результаты экспериментальных и теоретических исследований процесса искусственного рассеяния переохлажденного тумана наземными средствами / А.Н. Земсков, О.П. Котова, Л.И. Красновская и др. // Тр. Всесоюз. конф. "Активные воздействия на гидрометеорологические процессы". - Л., 1990. - С. 401-407.

6 Итоговый отчет по договору между ЦАО и аэропортом Алма-Ата от 29 октября 1991 г. № 32 "Научно-техническое сопровождение производственных туманов в аэропорту Алма-Ата". - Долгопрудный, 1992 г. (Руководитель работ М.П. Власюк).

7 Никандров В.Я. Искусственные воздействия на облака и туманы. - Л.: Гидрометеоиздат, 1959. - 190 с.

8 Красновская Л.И., Хижняк А. Н., Шевалдина Т.И. Лабораторные исследования механизма взаимодействия реагентов типа пропана с водным аэрозолем // Тр. ЦАО. - 1976. - Вып. 104. -С. 108-116.

Лист регистрации изменений РД 52.11.638-2002

Номер изменения	Номер страницы				Номер документа	Подпись	Дата	
	измененной	замененной	новой	аннулированной			внесения изменения	введения изменения

Содержание

1 Область применения

2 Определения и сокращения

2.1 Определения

2.2 Сокращения

3 Общие положения

4 Информация, необходимая для определения целесообразности и эффективности применения искусственного рассеяния тумана в конкретном аэропорту

5 Технические средства, используемые при искусственном рассеянии переохлажденных туманов с земли

5.1 Средства измерения метеорологических величин и контроля эффекта рассеяния

5.2 Технические средства, применяемые для введения реагентов в туман

6 Разработка схемы размещения азотных генераторов на конкретном объекте

7 Планирование и организация работ по рассеянию тумана в аэропортах

8 Оценка эффективности работ по рассеянию тумана

9 Правила безопасности при проведении работ

9.1 Общие положения

9.2 Требования безопасности при работе с жидким азотом

Приложение А Физические основы искусственного рассеяния переохлажденных туманов с использованием жидкого азота

А.1 Введение

А.2 Физические процессы, происходящие при искусственном рассеянии переохлажденных туманов

А.3 Реагенты, используемые для искусственного рассеяния переохлажденных туманов наземными способами

А.4 Образование зон искусственного рассеяния в тумане

Приложение Б Методика определения экономической эффективности от внедрения научно-технического мероприятия по рассеянию переохлажденных туманов в аэропорту Шереметьево

Приложение В Библиография