РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

Методические указания

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИСКУССТВЕННОГО РАССЕЯНИЯ ПЕРЕОХЛАЖДЕННЫХ ТУМАНОВ НА АВТОДОРОГАХ

РД 52.11.640-2002

Дата введения 2003-01-01

ПРЕДИСЛОВИЕ

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

2 РАЗРАБОТЧИКИ М. П. Власюк, канд. физ.-мат. наук, руководитель темы; Г. П. Берюлев, канд. физ.-мат. наук; В. И. Черныш; Н. Г. Мукий; Н. М. Кочетов; Л. А. Короткова, нормоконтролер

3 ВНЕСЕН Отделом активных воздействий и государственного надзора УСНК Росгидромета

4 ОДОБРЕН Центральной комиссией по приборам и методам наблюдений (ЦКПМ) Росгидромета, протокол № 2 от 30 июня 2002 г.

5 УТВЕРЖДЕН Руководителем Росгидромета 19 июля 2002 г.

6 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Центральным конструкторским бюро гидрометеорологического приборостроения (ЦКБ ГМП) за номером РД 52.11.640-2002 от 23 июля 2002 г.

7 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

1 Область применения

Настоящие методические указания устанавливают общий порядок применения метода искусственного рассеяния переохлажденных туманов на автодорогах с использованием жидкого азота (далее азотный метод) с целью снижения аварийности автотранспорта в условиях тумана.

Настоящие методические указания подлежат применению в специализированных подразделениях Росгидромета, а также в других организациях, выполняющих работы по искусственному рассеянию переохлажденных туманов на автодорогах.

2 Определения и сокращения

В настоящих методических указаниях применяют следующие термины с соответствующими им определениями и сокращениями.

Азотный метод - совокупность приемов и операций, реализующих способ искусственного рассеяния переохлажденного тумана с помощью технических средств, использующих жидкий азот в качестве хладореагента.

Азотные генераторы (АГ) - специальные криогенные установки для создания низкотемпературных струй воздуха, локально вводимых в переохлажденный туман с целью мгновенного замораживания капель тумана и тем самым превращения их в ядра искусственной кристаллизации воды в этом тумане.

Активные воздействия (АВ) на переохлажденный туман на автодороге - преднамеренное изменение состояния переохлажденного тумана в желаемом направлении путем термического (криогенного) искусственного воздействия на него с целью улучшения видимости на автодороге.

Зона улучшенной видимости (ЗУВ) - объем воздуха в переохлажденном тумане, в котором в

результате искусственного воздействия видимость улучшается до уровня обеспечения безопасности движения автотранспорта.

3 Азотный метод

3.1 Физический принцип искусственного воздействия

3.1.1 Успех применения азотного метода зависит главным образом от уровня понимания его физического принципа и сущности, а также заложенных в нем потенциальных возможностей АВ на переохлажденный туман, которые могут эффективно использоваться, в частности, по мере накопления опыта применения метода в конкретном и, как правило, сложном комплексе физико-географических, погодно-климатических, дорожно-транспортных, экологических, социально-экономических условий [1-3].

3.1.2 С физической точки зрения переохлажденный жидко-капельный туман является коллоидной системой (аэрозолем), одновременно находящейся в двух фазах - дисперсной (жидкокапельной) и дисперсионной (парообразной). Жидкокапельная фаза существует в виде множества переохлажденных (при отрицательной температуре до минус 40 °С) капелек очень малых размеров от 10 до 100 мкм и распределена в другой фазе - парообразной, существующей в виде водяного пара (частички размером около 1 мкм) [1, 2].

3.1.3 Между частицами воды двух фаз осуществляется равновесный диффузионный обмен, при котором переход газообразных частичек воды на капельки жидкокапельной фазы уравновешивается обратным переходом капелек жидкокапельной фазы в парообразную фазу. Количественно равновесный переход частичек воды между фазами определяется значением давления насыщения, выше которого большее число газообразных частичек парообразной фазы при заданной отрицательной температуре не может переходить в жидкокапельную фазу пересыщенного тумана, и наоборот.

3.1.4 Основным механизмом преобразования водяного пара переохлажденного тумана в жидкокапельную фазу является конденсация пара, сопровождающаяся выделением скрытой теплоты парообразования.

3.1.5 Другой крайней коллоидной формой существования переохлажденного тумана является ледяной туман, в котором дисперсную фазу составляют кристаллики льда размером от 10 до 100 мкм, а дисперсионную фазу - частички водяного пара воздуха размерами около 1 мкм. В этом случае преобразование частичек водяного пара воздуха непосредственно в ледяную фазу осуществляется по механизму сублимации водяного пара, при котором процесс преобразования сопровождается выделением скрытой теплоты не только парообразования, но и плавления. Поэтому в ледяном тумане для покрытия затрат скрытой энергии в процессе установления обменного равновесия между парообразной и ледяной фазами потребуется участие большего количества парообразных частичек, чем в случае установления аналогичного обменного равновесия между частичками парообразной и жидкокапельной фаз в переохлажденном жидкокапельном тумане.

3.1.6 Количественной мерой установления обменного равновесия между парообразной, жидкокапельной и ледяной фазами воды в переохлажденных туманах является значение давления насыщенного водяного пара E (гПа) соответственно над водой $E_в$ и надо льдом $E_л$. Ниже представлены значения $E_в$ и $E_л$ для жидкокапельных и ледяных туманов при некоторых отрицательных значениях температуры [1]:

Температура воздуха, °С	0	-10	-20	-30	-40
Давление насыщения водяного пара, гПа:					
над водой	6,10	2,85	1,27	0,50	0,19
надо льдом	6,10	2,60	1,03	0,37	0,13

3.1.7 При некотором искусственном (виртуальном) смешении жидкокапельного и ледяного туманов установившиеся ранее в каждом из них равновесия обменных процессов между дисперсной и дисперсионной фазами будут, очевидно, нарушены. В итоге давление водяного пара в образовавшемся "смешанном" тумане окажется ненасыщенным по отношению к его ледяной фазе, оставаясь в то же время несколько пересыщенным по отношению к жидкокапельной фазе. В результате начинается интенсивный процесс "донасыщения" пара надо льдом, в ходе которого на ледяные кристаллики перекачиваются газообразные частички воды как самого воздуха тумана, так и частички, испаряющиеся с поверхностей жидких капель, и сами ледяные кристаллы будут превращаться в центры кристаллизации газообразной и жидкокапельной влаги переохлажденного тумана.

3.1.8 Указанный процесс сублимации воды на ядрах кристаллизации будет длиться до тех пор, пока ледяные кристаллы, постепенно увеличиваясь и вырастая до размеров твердых осадков (например, в виде снежинок, крупы), не осядут на землю. Сублимационный процесс завершается полным преобразованием газообразной и жидкокапельной фаз воды переохлажденного тумана в ее кристаллическую фазу и осаждением последней на землю в виде снега или снежной крупы.

3.1.9 Таким образом, физический принцип искусственного воздействия на туман состоит в учете и целенаправленном использовании существенных различий в механизмах реализации фазовых переходов пар-вода и пар-лед, объективно присущих переохлажденным туманам как многофазным коллоидным системам.

3.2 Сущность азотного метода

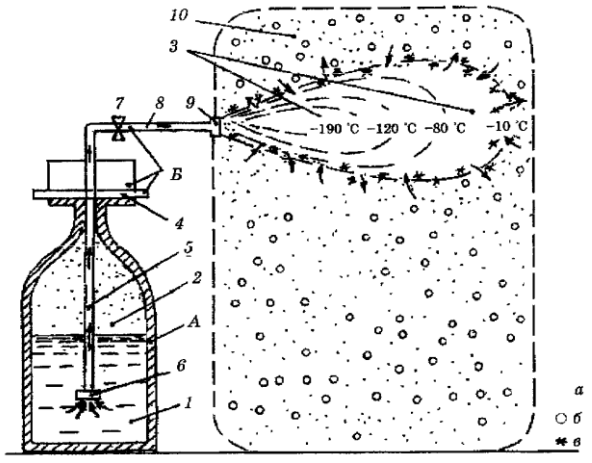
3.2.1 Азотный метод основан на создании в локальных объемах подлежащего искусственному рассеянию переохлажденного тумана особых зон охлажденного воздуха. В этих зонах искусственно создаются необходимые условия для протекания сублимационных процессов преобразования газообразной и жидкокапельной фаз реального тумана в ледяную фазу, при которых осуществляется кристаллизация тумана с формированием твердых осадков (снежинок, крупы) и их выпадением на подстилающую поверхность (в том числе и на автодорогу).

3.2.2 Для создания локальных особых зон охлаждения воздушной среды тумана в методе используется жидкий азот, который диспергируется в эту среду с помощью АГ. Эти генераторы создаются на базе выпускаемых промышленностью стандартных емкостей для хранения жидкого азота, которые дополняются специальными насадками, обеспечивающими дозированное диспергирование (распыление) жидкого и парообразного азота из емкости (термостата) в окружающий туман.

3.2.3 В первых работах ЦАО по рассеянию переохлажденных туманов на автодорогах положительно зарекомендовали себя малолитражные генераторы мелкодисперсных частиц льда наземные (ГМЧЛ-Н) емкостью 40 или 175 л типа ГМЧЛ-Н-40-С (стационарный) и ГМЧЛ-Н-40-М (мобильный), а также крупнолитражные типа ГМЧЛ-Н-175-С и ГМЧЛ-Н-175-М. В настоящее время работы по совершенствованию конструкций АГ продолжаются.

3.2.4 На рисунке 1 представлена функциональная схема устройства АГ типа ГМЧЛ-Н [4, 5].

3.2.4.1 АГ состоит из двух частей: термостата *А* и насадки *Б*, включающей детали *4-7*. Термостат служит для хранения жидкого азота *1* при температуре минус 190 °С, а насадка - для формирования на выходе распылителя *9* низкотемпературной воздушной области *3* с необходимой геометрической конфигурацией в переохлажденном тумане *10*.



а - частички парообразного азота, воды; *б* - капельки переохлажденного тумана; *в* - ледяные кристаллики

А - термостат; *Б* - насадка; *1* - жидкий азот; *2* - верхняя часть термостата; *3* - воздушный факел; *4* - радиатор; *5* - трубопровод; *6* - жиклер; *7* - клапан; *8* - струя жидкого и парообразного азота; *9* - распылитель; *10* - туман

Рисунок 1 - Функциональная схема устройства АГ типа ГМЧЛ-Н и принцип его действия

3.2.4.2 АГ функционирует следующим образом. С помощью радиатора *4* в верхней части

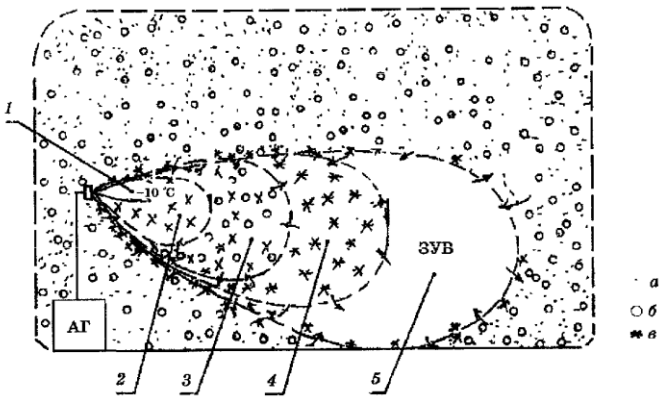
термостата *2* создается избыточное давление паров азота по сравнению с нормальным давлением наружного воздуха в тумане *10*. Благодаря возникающей при этом на торцах жиклера **6** и распылителя (форсунки) *9* трубопровода разности давлений в самом трубопроводе *5* создается струя *8* из смеси жидкого и парообразного азота, которая при открытом клапане *7* будет выходить через распылитель *9* непосредственно в зону переохлажденного тумана *10*, создавая в ней локальную низкотемпературную область (факел) *3*. Требуемая геометрическая конфигурация этой области формируется специальной конструкцией распылителя *9*. Выходя на большой скорости из распылителя *9*, переохлажденная струя азота *8* создает в переохлажденном факеле *3* разрежение, благодаря которому происходит подсос в эту зону наружного воздуха с туманом *10* и осуществляется перемешивание азота с воздухом (показано стрелками). По мере удаления от распылителя *9* скорость движения струи сжатого азота *8* в факеле *3* уменьшается, объем перемешивающихся газов увеличивается, а сам факел *3* расширяется.

3.2.4.3 Динамический процесс формирования геометрической конфигурации факела *3* (на выходе форсунки *9*) и ее последующей эволюции при взаимодействии азотной струи с переохлажденным туманом *10* и ее перемешивании с ним приводит к образованию внутри факела своеобразных температурных слоев перемешивания, выделенных на рисунке 1 внутри контура факела *3* соответствующими пунктирными изолиниями температуры.

3.2.5 На рисунке 2 показаны этапы эволюции структуры переохлажденного тумана при его последовательном взаимодействии с разными участками непрерывно создаваемого АГ факела переохлажденного воздуха.

3.2.5.1 На рисунке 2 участки, обозначенные номерами *1-5*, соответствуют пяти основным этапам формирования расслаивающейся движущейся струи переохлажденного воздуха (факела) при функционировании АГ. Первый этап (начальный участок *1*) характеризует момент выхода из форсунки АГ переохлажденной струи. Второй этап (участок *2*) соответствует процессу сублимации парообразной и жидкокапельной воды переохлажденного тумана. Третий этап (участок *3*) соответствует дальнейшему росту по механизму сублимации сформировавшихся на участке *2* кристалликов за счет перекачки на них водяного пара, образующегося при испарении капелек окружающего тумана.

Четвертый этап (участок *4*) отражает достижение растущими ледяными кристаллами размеров твердых осадков, их дальнейший рост (главным образом по механизму коагуляции) и выпадение на землю. Наконец, пятый этап (участок *5*) характеризует полное выпадение на землю всех сформировавшихся твердых осадков и образование благодаря этому зоны улучшенной видимости (ЗУВ). Находясь в передней части растущего факела переохлажденного воздуха, ЗУВ в процессе своего движения вытесняет окружающие участки переохлажденного тумана и тем самым расширяет искусственно образованную ЗУВ.



а - частички парообразного азота, воды; *б* - капельки переохлажденного тумана; *в* - ледяные кристаллики

Рисунок 2 - Этапы (*1-5*) эволюции структуры переохлажденного тумана при его последовательном взаимодействии с разными участками факела переохлажденного воздуха, непрерывно создаваемого АГ

3.2.5.2 Во время функционирования АГ каждая последующая порция переохлажденного воздуха из его форсунки вытесняет предыдущую порцию, которая, проходя затем этапы соответствующих преобразований, превращается на последнем пятом этапе в очередной участок

ЗУВ. Таким образом обеспечивается непрерывное увеличение объема ЗУВ.

3.2.6 В зависимости от требований к характеристикам ЗУВ, которая должна быть получена в переохлажденном тумане, и от конкретной ситуации в зоне воздействий может применяться мобильный, стационарный или смешанный способы размещения АГ при АВ на переохлажденные туманы на автодорогах.

3.2.6.1 Мобильный способ состоит в размещении АГ на подвижной платформе (на прицепе или в кузове автомобиля). При этом работа АГ по рассеянию тумана осуществляется в режиме движения на автодороге синхронно с потоком движущегося автотранспорта.

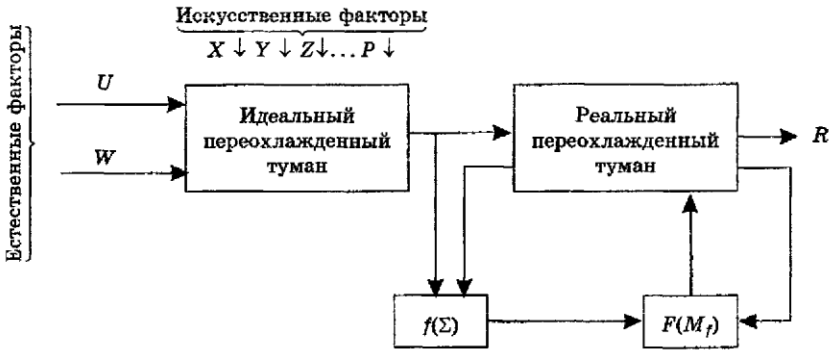
3.2.6.2 Стационарный способ предусматривает расстановку АГ вдоль автодороги (например, на ее обочинах) в фиксированных пунктах. В этом случае воздействие на переохлажденный туман производится в режиме, который не зависит от направления и скорости движения автотранспорта.

3.2.6.3 Смешанный способ состоит в комбинированном применении мобильного и стационарного способов размещения АГ при воздействии на переохлажденные туманы на автодорогах.

3.2.7 В зависимости от конкретной ситуации при этом может применяться от одного до нескольких АГ с определенными режимами работы, направленными на обеспечение на автодороге ЗУВ необходимого размера и нужной геометрической конфигурации.

3.3 Условия применения азотного метода

3.3.1 Представление переохлажденного тумана в виде коллоидной системы (в соответствии с 3.1.2) применимо лишь для случаев простейших ("идеальных") типов переохлажденных туманов, которые реально могут создаваться и существовать только в искусственных условиях, например в камерах туманов.



U - физико-географические факторы; *W* - синоптико-метеорологические факторы; *X* - инфраструктурные факторы; *Y* - материально-технические факторы; *Z* - социально-экономические факторы; *P* - прочие факторы искусственного происхождения; $f(\Sigma)$ - расчетные схемы расстановки АГ для воздействий на туман с учетом реальной ситуации; $F(M_f)$ - выбор и применение метода воздействия на туман (в зависимости от способа размещения АГ - мобильного, стационарного, смешанного) в соответствии со схемами $f(\Sigma)$; *R* - факторы, характеризующие состояние и поведение реального тумана (включая образование в нем ЗУВ), подвергающегося целенаправленному искусственному воздействию с использованием жидкого азота

Рисунок 3 - Структурная схема естественных и искусственных воздействий на реальный туман, обусловливающих изменение его состояния и эволюции

3.3.2 В действительности же состояние и поведение любого переохлажденного тумана обычно определяется не только механизмами взаимопревращений газообразной, жидкокапельной и кристаллической фаз воды в аэрозоле, но и дополнительными внешними и внутренними воздействиями на этот аэрозоль многочисленных и разнородных факторов и механизмов - физико-географических, синоптико-метеорологических, инфраструктурных, материально-технических, социально-экономических и др. (рисунок 3). Поэтому в любом реальном переохлажденном тумане картина фазовых превращений его водной среды объективно должна существенно отличаться от идеальной схемы многочисленными дополнительными влияниями других разнородных факторов на фазовые превращения. В итоге

общим результатом искусственного воздействия на реальный переохлажденный туман при неучете (или при слабом учете) такого рода факторов будет, в частности, образование неконтролируемых и неуправляемых ЗУВ, которые возникают и развиваются в произвольных зонах и имеют размеры и геометрическую конфигурацию, не соответствующие заданным требованиям.

3.3.3 Избежать непреднамеренного влияния на реальный переохлажденный туман, по-видимому, нельзя. Однако можно существенно уменьшить его масштабы, в первую очередь путем учета и целенаправленного использования качественных и количественных оценок факторов *U, W, X, Y, Z, P* при разработке схем и режимов организации воздействий на переохлажденный туман сетью АГ [3].

3.3.4 Организации работ по применению азотного метода воздействий должно предшествовать исследование конкретных физико-географических, климатических, синоптико-метеорологических, инфраструктурных, материально-технических, социально-экономических и других сопутствующих факторов в районе предстоящего проведения работ по рассеянию переохлажденных туманов на автодороге.

3.3.4.1 Физико-географические и климатические факторы характеризуют особенности окружающего автодорогу рельефа местности, наличие водоемов, открытых пространств и других условий, влияющих на частоту возникновения туманов, их типы, направления развития и т. д.

3.3.4.2 Синоптико-метеорологические факторы описывают основные метеорологические величины, определяющие состояние и поведение переохлажденных туманов в конкретной местности: водность, температура, ветер (скорость, направление, сдвиги по высоте), загрязненность воздуха аэрозолями, метеорологическая дальность видимости (МДВ) и т. п.

Наиболее благоприятными для воздействий на переохлажденные туманы азотным методом являются условия, когда наблюдаются, в частности, следующие значения метеорологических величин:

Температура воздуха, °С	от 0,5 до минус 30
Скорость ветра, м/с	от 0 до 5
Относительная влажность воздуха, %	до 100
МДВ, м	менее 1000

3.3.4.3 Инфраструктурные факторы характеризуют уровни обустроенности автодорог и прилегающих к ним территорий для их технического обслуживания, в первую очередь с точки зрения возможностей использования для размещения и транспортировки технических средств при воздействии на переохлажденные туманы.

3.3.4.4 Социально-экономические факторы характеризуют формы собственности (государственной, частной) как самой автодороги, так и ее инфраструктурных составляющих (тротуаров, переходов, осветительных линий, обочин и т. д.), степень заселенности местности в районе автодороги, близость сельских и городских населенных пунктов, общий уровень развития экономического потенциала региона и т. п.

3.3.5 Собранные данные используются затем для прогнозирования объемов проектируемых работ и определения материально-технической базы для проведения воздействия, установления оптимальных схем применения азотного метода в конкретных местных условиях проведения работ, оценки эффективности получаемых результатов воздействий и для решения других задач по использованию и совершенствованию азотного метода.

3.4 Местные модификации азотного метода

3.4.1 Азотный метод состоит в расстановке на обочине обслуживаемого участка автодороги необходимого количества АГ на некоторых фиксированных расстояниях друг от друга (стационарный способ), в их закреплении на движущихся платформах (мобильный и смешанный способы) и в обеспечении их функционирования в определенных режимах диспергирования жидкого и газообразного азота в туман. Однако накопленный ЦАО опыт по рассеянию переохлажденных туманов в реальных условиях показывает, что обеспечение эффективного искусственного рассеяния переохлажденного тумана на автодороге требует изменения этой схемы азотного метода, с тем чтобы она позволяла учитывать при воздействиях влияние естественных и искусственных факторов (см. рисунок 3) на характеристики туманов [4, 5].

3.4.2 Действенным инструментом решения таких задач является разработка численных моделей реальных туманов и АВ на них, однако для их построения и эффективного

использования нужны специалисты очень высокой квалификации.

3.4.3 Практика показывает, что удовлетворительные результаты дает построение и применение нормативных моделей переохлажденных туманов и АВ на них (в соответствии с 3.6), создаваемых на основе учета накапливающегося опыта эксплуатации метода в конкретных местных условиях.

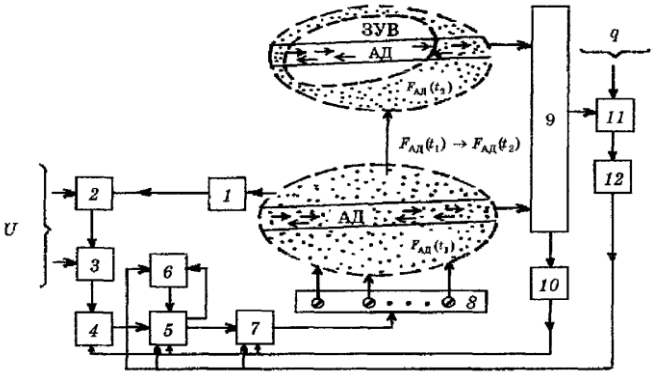
3.4.4 В качестве данных, необходимых для создания и отладки как численных, так и нормативных моделей переохлажденных туманов и АВ на них, используются как данные специализированной базы данных (согласно 3.8), так и оперативные данные метеорологических наблюдений автоматических метеорологических станций, местных метеорологических служб (при их наличии) и сети Интернет (при необходимости получения краткосрочной прогностической метеорологической информации).

3.5 Материально-техническая база для применения азотного метода

3.5.1 Материально-техническую базу воздействий по азотному методу составляют:

- комплект АГ;
- штатные цистерны-емкости для хранения и транспортировки жидкого азота;
- автомашины для монтажа и транспортировки АГ, применяемых при мобильном и смешанном способах их размещения, а также для перевозки жидкого азота и АГ на пункты воздействий при стационарном и смешанном способах;
- комплект измерительной метеорологической аппаратуры (автоматическая метеорологическая станция, измерители МДВ и др.) для измерения характеристик переохлажденного тумана (температуры, влажности, скорости и направления ветра, параметров ЗУВ и др.);
- персональные компьютеры (ПК) для создания и отладки численных моделей туманов и АВ на них, обработки данных метеорологических наблюдений и результатов АВ, создания и развития базы данных по воздействиям на туманы в регионе;
- сотовые радиотелефоны (или полевые УКВ-радиостанции) для обеспечения оперативной связи при подготовке и проведении АВ на переохлажденные туманы;
- производственные и жилые помещения для размещения технических средств и личного состава подразделения по АВ;
- мелкий хозяйственный инвентарь для поддержания надлежащего порядка на территории дислокации подразделения по АВ, выполнения необходимых работ по технике безопасности.

3.5.2 Номенклатура и требуемые материально-технические средства определяются, исходя из учета конкретного объема подлежащих выполнению работ по воздействиям в зависимости от специфики переохлажденных туманов, инфраструктуры автодорог, физико-географических и социально-экономических условий конкретного региона.



$F_{АД}(t_1)$ и $F_{АД}(t_2)$ - состояния переохлажденного тумана на автодороге до и после воздействия на него соответственно; $F_{АД}(t_1) \rightarrow F_{АД}(t_2)$ - общий цикл воздействия на туман до момента образования на автодороге ЗУВ; U - критерии и факторы, учитываемые при прогнозе и диагнозе характеристик тумана и принятии решения по воздействию на него (физико-географические, климатические, синоптико-метеорологические факторы, рекомендации по результатам численного моделирования и т. п.); q - критерии определения ЗУВ для обеспечения безопасности движения на автодороге в условиях тумана

Рисунок 4 - Общая структура технологического цикла операций (*1-12*) по воздействиям на переохлажденный туман на автодорогах

3.6 Технология активного воздействия по азотному методу

3.6.1 В условиях существенной зависимости результатов применения азотного метода от учета и использования множества разнородных естественных и искусственных факторов (по 3.3.2) эффективным способом реализации метода на автодорогах является предварительная разработка специальной технологической схемы подготовки и осуществления воздействия на переохлажденный туман по азотному методу, пример которой представлен на рисунке 4.

3.6.1.1 Согласно этой схеме, основной обобщенной характеристикой применения азотного метода является структура его технологического цикла воздействия на переохлажденный туман автодороги.

3.6.1.2 Технологический цикл воздействия включает следующие операции:

- прогноз и диагноз *1* и определение основных характеристик *2* переохлажденного тумана на автодорогах $F_{АД}$, подлежащего обработке (воздействию) по азотному методу;
- принятие решения о воздействии *3*, включая разработку *4* (на основе результатов численного моделирования) схемы воздействия (схемы размещения АГ вдоль прилегающей к автодороге местности или на самой автотрассе) и алгоритма воздействия на туман, согласно принятому способу размещения АГ (стационарному, мобильному или смешанному);
- подготовка и размещение АГ *5* (на обочине автодороги или на самой автотрассе) с практической реализацией принятой схемы *8* и перевод АГ в рабочее состояние *7* (в режим АВ);
- оперативный контроль *9* результатов воздействия и при необходимости корректировка *10* принятых схем и алгоритма воздействия;
- принятие решения *11* о прекращении воздействий;
- прекращение воздействий *12*, перевод АГ в нерабочее состояние *7*, их транспортировка к месту постоянной дислокации технических средств *6*.

3.6.2 Представленная на рисунке *4* структура технологического цикла реализации азотного метода АВ носит открытый характер. В частности, она допускает осуществление дальнейшей углубленной детализации самих операций *1-12, U, q* и их дополнение рядом новых операций. Возможно, например, включение в схему технологического цикла таких операций, как ввод в ПК данных о самих операциях *1-12, U, q,* построение численных моделей переохлажденных туманов на автодорогах и АВ на них, выполнение компьютерного анализа каждого АВ (в том числе и расчетов затрат на каждое воздействие), создание компьютерных баз данных по рассеянию туманов в дни с воздействиями, по месяцам, сезонам и т. д.

3.7 Оценка эффективности применения азотного метода

3.7.1 Оценка эффективности работ по искусственному рассеянию переохлажденных туманов на автодорогах является важной составной частью мероприятий, направленных на совершенствование азотного метода.

3.7.2 Могут осуществляться оценки физической и экономической эффективности применения азотного метода.

3.7.2.1 Физическая эффективность азотного метода определяется уровнем научной обоснованности применяемой технологии искусственного рассеяния переохлажденных туманов на автодорогах. Она также зависит от характеристик применяемых АГ и режимов их функционирования, качества разработанных численных моделей переохлажденных туманов и АВ на них, схем их обработки (при мобильном, стационарном и смешанном способах размещения АГ), уровней материально-технического, информационного, организационного обеспечения различных операций технологии АВ и от других факторов, учет и использование которых способствуют улучшению оперативности и повышению качества работ по рассеянию туманов.

3.7.2.2 Экономическая эффективность азотного метода определяется значением предотвращенного материального ущерба (в денежном выражении) при использовании азотного метода для искусственного рассеяния туманов на автодорогах с целью снижения числа дорожно-транспортных происшествий.

3.7.3 В настоящее время в практике рассеяния переохлажденных туманов на автодорогах с использованием азотного метода оценки физической и экономической эффективности выполняемых работ пока не производятся из-за отсутствия необходимых методик (ввиду новизны таких работ). Ориентировочные оценки эффективности проводимых работ по АВ на переохлажденные туманы могут осуществляться по создаваемым на местах временным методикам на основе учета и использования рекомендаций, содержащихся в общих методиках по оценкам физической и экономической эффективности АВ на гидрометеорологические процессы [6].

3.8 Создание и совершенствование базы данных азотного метода

3.8.1 Еще одной важной составной частью мероприятий по совершенствованию азотного метода является создание и развитие современного информационного компьютерного обеспечения азотного метода.

3.8.2 С целью систематизации материалов по воздействиям формируется база данных, направленная на накопление и совершенствование опыта применения азотного метода искусственного рассеяния переохлажденных туманов на автодорогах. При этом накапливают и систематизируют также следующие данные: по разработке и совершенствованию численных моделей переохлажденных туманов; способам размещения АГ (стационарном, мобильном и смешанном); режимам функционирования АГ в различных метеорологических условиях эволюции переохлажденных туманов разных типов; отдельным операциям технологических циклов рассеяния переохлажденных туманов на автодорогах; инструментальным методам контроля физического эффекта искусственного рассеяния переохлажденных туманов; способам и методикам оценки физической и экономической эффективности применения азотного метода и т. п.

3.9 Организация работ по внедрению азотного метода

3.9.1 Начальным этапом работ по внедрению азотного метода является проведение комплексного обследования физико-географических, климатических, синоптико-метеорологических, инфраструктурных и социально-экономических факторов в предполагаемом районе проведения работ по искусственному рассеянию переохлажденных туманов на автодороге (согласно 3.3). Полученная при этом исходная информация используется для оценки общего объема предстоящих работ по искусственному рассеянию переохлажденных туманов на автодороге, необходимой для них материально-технической базы, численности личного состава подразделения по АВ на туманы, уточнения его функций и т. п.

3.9.2 В целом процесс организации работ по внедрению азотного метода включает следующий комплекс мероприятий:

- формирование материально-технической базы воздействий и контроля их результатов;
- определение оптимальной структуры подразделения по АВ, прав и обязанностей его личного состава;
- разработка схем метеорологического обеспечения работ по АВ, схемы взаимодействия подразделения по АВ с местной автодорожной службой;
- разработка режима проведения АВ и анализа результатов каждого воздействия и др.

3.9.3 Проведение подготовительных работ по внедрению азотного метода согласуется с местными автодорожными службами. Порядок взаимосогласования регламентируется соответствующей инструкцией, которая разрабатывается применительно к каждой автодорожной службе с учетом ее конкретной специфики.

4 Меры безопасности при проведении работ

Жидкий азот относится к экологически наиболее безопасным хладореагентам, но его практическое использование требует осторожного обращения с ним. Поэтому при выполнении работ по искусственному рассеянию переохлажденных туманов на автодорогах по азотному методу необходимо строго выполнять требования "Инструкции по технике безопасности при работе с жидким азотом во время проведения активных воздействий при стационарном и мобильном способах размещения азотных генераторов" (приложение А).

5 Требования охраны окружающей среды

5.1 При проведении работ по искусственному рассеянию переохлажденных туманов на автодорогах с использованием жидкого азота в качестве хладореагента никаких иных газовых или других составляющих не применяется. Жидкий азот на выходе АГ при диспергировании быстро переходит в газообразную фазу и становится экологически безвредным компонентом воздуха, естественная концентрация которого составляет 75,5 % от общей массы атмосферы. Другим результатом воздействия на переохлажденный туман по азотному методу, помимо выбросов в атмосферу газообразного азота, является выпадение из тумана в районе проведения работ экологически безвредных осадков на почву, асфальт автодорог и в водоемы.

5.2 Оценку выбросов азота в атмосферу при проведении работ по АВ можно произвести исходя из учета конкретного объема атмосферного воздуха, занимаемого туманом над

автодорогой и прилегающей территорией, и количества газообразного азота, диспергируемого в этот объем АГ в единицу времени.

Так, при средних размерах участка защищаемой от тумана автодороги и ее обочин 3000 × 500 м, средней мощности (высоте) тумана 200 м, производительности одного АГ типа ГМЧЛ-Н-40-С 3 л/ч и средней продолжительности сезона работ по рассеиванию переохлажденных туманов 50 сут (при средней продолжительности одного воздействия по азотному методу 4,5 ч/сут) выбросы газообразного азота в занятый рассеиваемым туманом объем воздуха над автодорогой будут составлять:

- при применении одного АГ типа ГМЧЛ-Н-40-С - $2{,}25 \cdot 10^{-4}$ г/м^3,
- при применении максимального числа АГ типа ГМЧЛ-Н-40-С (30 шт.) - $13{,}5 \cdot 10^{-3}$ г/м^3.

Фоновая плотность азота, т. е. при отсутствии выбросов, в приземном воздухе составляет 980 г/м^3 [1], приложение Б. Следовательно, выбросы азота в приземный воздух при любом режиме применения азотного метода будут ничтожно малыми (составлять тысячные доли процента) по сравнению с фоновой концентрацией азота в воздухе.

При воздействиях не будет выбросов азота на автодорогу, на поверхность почвы и в водоемы при любых режимах искусственного рассеяния переохлажденных туманов на автодорогах, поскольку весь диспергируемый при АВ газообразный и жидкий азот перемешивается с воздухом (согласно 3.2).

Приложение А
(обязательное)

Инструкция по технике безопасности при работе с жидким азотом во время проведения активных воздействий при стационарном и мобильном способах размещения азотных генераторов

А.1 Основные положения

А.1.1 Жидкий азот представляет собой жидкость без цвета и запаха, с температурой минус 196 °С; при контакте с ним многие материалы изменяют свои свойства (например, металлы и резина становятся хрупкими).

А.1.2 Попадание жидкого азота на кожу вызывает покраснение или образование припухлости (3-я степень обморожения), пузырей (2-я степень) или полное ее омертвление с образованием струпьев (1-я степень).

А.2 Общие требования

А.2.1 К работе с жидким азотом допускаются лица не моложе 18 лет, ознакомленные с данной инструкцией.

А.2.2 К работе не допускаются лица, не прошедшие инструктаж по технике безопасности.

А.2.3 Жидкий азот должен храниться и транспортироваться в специальных герметизированных емкостях (сосудах Дьюара).

А.2.4 При работе с жидким азотом необходимо пользоваться специальными инструментами.

А.2.5 На работающих с жидким азотом должны быть надеты непромокаемые утепленные рукавицы и фартук, защитные очки.

А.2.6 При работе с жидким азотом запрещается прикасаться неизолированными частями тела к предметам, покрытым инеем.

А.2.7 В случае аварийной ситуации необходимо прекратить работы до устранения неисправностей. При попадании на тело жидкого азота быстро его стряхнуть, а пораженные участки кожи растереть этиловым спиртом, после чего наложить на них мазь от обморожения (вазелин или другие жиры). При сильном обморожении (1-й и 2-й степени) пострадавшего немедленно отправить в ближайший медицинский пункт.

А.3 Специальные требования при стационарном способе размещения азотных генераторов

А.3.1 Требования и последовательность операций следует выполнять в соответствии с инструкцией по эксплуатации емкостей с жидким азотом.

А.3.2 Места установки стационарных АГ должны быть огорожены.

А.3.3 На ограждениях должны быть вывешены предупреждающие таблички.

А.3.4 Внутри ограждений не должны находиться посторонние предметы.

А.3.5 Работы с деталями АГ, установленными на высоте (чистка, замена форсунок и т. п.),

должны проводиться двумя сотрудниками, один из которых осуществляет страховку и поддерживает лестницу.

А.4 Специальные требования при мобильном способе размещения азотных генераторов

А.4.1 Цистерна с жидким азотом должна быть надежно закреплена в кузове автотранспорта.

А.4.2 Требования и последовательность операций следует выполнять в соответствии с инструкцией по эксплуатации емкостей с жидким азотом.

А.4.3 При заправке жидким азотом АГ, размещенного в кузове автомобиля, от стационарно установленного АГ должны выполняться следующие требования:

- не допускать ударов по трубопроводам, особенно при демонтаже охлажденного оборудования;
- отсоединение шланга производить после прогрева заиндевевших деталей, не прилагая при этом чрезмерных усилий к заклинившим гайкам;
- при отсоединении шланга крепежную гайку ослаблять медленно, стравливая оставшийся в шланге азот.

А.4.4 Автомашина с АГ должна быть оборудована дополнительной световой сигнализацией (маячками красного и синего цвета).

А.4.5 При движении автомашины с АГ необходимо выполнять правила дорожного движения применительно к данной местности и обстоятельствам.

А.4.6 При движении в тумане следует обращать особое внимание на соблюдение дистанции, снижать скорость движения при уплотнении тумана.

Приложение Б
(справочное)

Библиография

1 Метеорологический словарь / В. П. Жуков, С. П. Хромов, Л. И. Мамонтова, Г. Г. Стадникова. - Л.: Гидрометеоиздат, 1974. - 568 с.

2 Кошеленко И. В. Туманы // Тр. УкрНИГМИ. - 1977, - Вып. 155. - 156 с.

3 Туманы на автодорогах: механизмы генезиса и принципы рассеяния / Г. П. Берюлев, М. П. Власюк, Л. И. Красновская, Н. Г. Мукий // Научная конференция по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды. Тез. докл. Секция 6. Активные воздействия на гидрометеорологические и геофизические процессы. - М., 1996. - С. 9-10.

4 Отчет о НИР "Разработать способы искусственного рассеяния туманов на автодорогах" (заключительный). - Долгопрудный, 1998. - 167 с.

5 Отчет о НИР "Разработать рекомендации по применению методов искусственного рассеяния туманов на автодорогах" (заключительный). - Долгопрудный, 2000. - 74 с.

6 Бибилашвили Н. Ш., Бурцев И. И., Серегин Ю. А. Руководство по организации и проведению противоградовых работ. - Л.: Гидрометеоиздат, 1981. - 168 с.

Лист регистрации изменений РД 52.11.640-2002

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

СОДЕРЖАНИЕ

1 Область применения
2 Определения и сокращения
3 Азотный метод
3.1 Физический принцип искусственного воздействия
3.2 Сущность азотного метода
3.3 Условия применения азотного метода

3.4 Местные модификации азотного метода
3.5 Материально-техническая база для применения азотного метода
3.6 Технология активного воздействия по азотному методу
3.7 Оценка эффективности применения азотного метода
3.8 Создание и совершенствование базы данных азотного метода
3.9 Организация работ по внедрению азотного метода
4 Меры безопасности при проведении работ
5 Требования охраны окружающей среды
Приложение А Инструкция по технике безопасности при работе с жидким азотом во время проведения активных воздействий при стационарном и мобильном способах размещения азотных генераторов
Приложение Б Библиография