

ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТОМ**Радкевич Мария Викторовна**

*д-р техн. наук, профессор,
Национальный исследовательский университет
«Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: maria7878@mail.ru*

Шипилова Камила Бахтияровна

*PhD, ст. преп.,
Национальный исследовательский университет
«Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: kamila-shipilova@mail.ru*

Хамидов Аваз Одилевич

*PhD, заведующий кафедрой,
Национальный исследовательский университет
«Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»,
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

Раззаков Руслан Ишқулович

*ассистент,
Национальный исследовательский университет
«Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»,
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

Гапиров Абдусамин Дехканбаевич

*канд. техн. наук, доцент,
Ташкентский государственный транспортный университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент,
E-mail: gapirov_a@mail.ru*

REVIEW OF LOCAL CLIMATE CONTROL CAPABILITIES**Maria Radkevich**

*D.Sc. in Engineering, Professor,
National Research University
"Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers",
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

Kamila Shipilova

*PhD, Senior Lecturer,
National Research University
"Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers",
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

Avaz Khamidov

*PhD, Head of Department,
National Research University
"Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers",
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

Ruslan Razzakov

*Assistant,
National Research University
"Tashkent Institute of Engineers of Irrigation and Mechanization of Agriculture",
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

Abdusamin Gapirov*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Tashkent State Transport University,**Candidate of Techn. Sci., Associate Professor, Tashkent State Transport University,
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены существующие способы локального воздействия на атмосферу с целью искусственного провоцирования осадков, рассеивания туманов, проветривания карьеров и выноса загрязнений из зоны дыхания. Большинство применяемых способов воздействия основано на применении реагентов и тепловом воздействии за счет сжигания топлива, применения пиротехники или использования энергии Солнца. Рекомендовано применение солнечных установок локального управления климатом (метеотронов) для обеспечения вентиляции городских улиц и перекрестков.

ABSTRACT

The article considers the existing methods of local impact on the atmosphere in order to artificially provoke precipitation, disperse fog, ventilate the pits and remove pollution from the breathing zone. Most of the methods used are based on the use of reagents and thermal impact by burning fuel, using pyrotechnics or using the energy of the sun. The use of solar local climate control units (meteotrons) to provide ventilation for city streets and intersections has been recommended.

Ключевые слова: климат, конвекция, осадки, восходящий поток, инверсия, метеотрон

Keywords: climate, convection, precipitation, upward flow, inversion, meteotron

Введение. В настоящее время в связи с изменением климата, ростом народонаселения, развитием промышленности и сельского хозяйства, а также ростом городов перед человечеством возникает ряд климатических и метеорологических проблем.

К этим проблемам можно отнести следующие:

- нехватка пресной воды;
- необходимость проветривания карьеров, городов и т.п.;
- необходимость рассеивания туманов, смогов и др.;
- необходимость рассеивания грозовых облаков;
- создание микроклимата над полями.

Попытки управления климатом предпринимаются с давних пор и не прекращаются по сей день. Необходимая энергия, требуемая для решения перечисленных проблем, может быть получена или за счет сжигания топлива, или за счет солнечного излучения. Воздействие на атмосферу может осуществляться как с поверхности Земли, так из воздуха.

Целью данной статьи является обзор способов локального воздействия на климатические условия.

Обзорная часть. Рассмотрим существующие способы решения метеопроблем с помощью воздушного транспорта.

В патенте США [21] предложен способ искусственного изменения погоды путем введения в грозовое облако полимеров. Предполагается использование "суперабсорбирующих" биоразлагаемых полимеров на водной основе (например, модифицированных полиакриламидами). Полимеры в порошкообразной форме распыляются с самолета в край грозового облака и перемешиваются с остальной частью облака за счет естественной турбулентности. Впитывая воду, полимер образует гелеобразную субстанцию, выпадающую на поверхность земли. Очевидно, что такой способ затруднительно осуществить на практике. В ураган предполагается внедрять

около 15000 тонн полимера, что влечет за собой не только производственные, но и высокие транспортные затраты.

Прогнозы ООН гласят, что к 2025 году около 1,8 миллиарда человек будут жить в условиях «абсолютного дефицита воды». Прирост населения Земли на три миллиарда человек к 2050 году может повысить спрос на воду на 55%, и 40% населения нашей планеты будет испытывать острый дефицит воды.

Для смягчения дефицита пресной воды в засушливых странах используют технологии добычи грунтовых вод и опреснения морской воды. Но возможности таких подходов зачастую ограничены запасами грунтовых вод и высокой энергоемкостью опреснения воды.

Одним из перспективных путей пополнения запасов пресной воды является применение способов искусственного увеличения осадков (ИУО), которые используются более чем в 50 странах.

США, Канада, Австралия, Израиль, ЮАР, Китай и Таиланд для воздействия на погодные условия в основном используют летательные аппараты, засеивающие облака различными реагентами (твёрдая углекислота, иодид серебра, поваренная соль и др.), которые образуют центры кристаллизации и провоцируют выпадение осадков. Иногда для засева облаков используются артиллерийские установки. Однако такие способы недостаточно предсказуемы и не могут обеспечить требуемой надежности, а иногда даже приводят к катастрофическим последствиям для человека. Например, в 2009 года в китайской провинции Хэбэ засев облаков йодистым серебром с целью облегчения засухи привел к обильному снегопаду, из-за которого были закрыты 12 автомагистралей [16]. Засев облаков йодидом серебра приводит к загрязнению атмосферы над определенными территориями, общее количество выбросов йодидов серебра может достигать 3 тонн в год.

Несмотря на эти недостатки, в Китае принята разрабатывается крупномасштабная программа ИУО. Вдоль Тибетского нагорья устанавливаются тысячи установок, производящих очень мелкие частицы йодистого серебра, которые затем поднимаются в атмосферу восходящими ветрами. По мере того как эти частицы рассеиваются в атмосфере, они действуют как центр конденсации воды. Ожидается, что каждая дождевая машина создаст полосу вздымающихся

облаков длиной 4,8 км. Это позволит Китаю искусственно контролировать погоду на территории, равной по размеру Аляске. Контроль системы будет осуществляться с помощью метеорологических спутников и дополняться частицами йодистого серебра, сбрасываемыми с самолетов и выпускаемыми из наземной артиллерии. В общей сложности ожидается, что система, которая будет охватывать 1606 тыс км², будет производить до 10 миллиардов кубических метров осадков каждый год [23].



Рисунок 1. Ракетная установка, используемая для засева облаков в Метеорологическом бюро в Пекине

В [22] было предложено заменить солевые реагенты смесью полиэлектролитов и поверхностно-активных веществ, вызывающих коалесценцию водяных капель. Однако засев предлагаемыми реагентами также предполагается с помощью самолетов, с сохранением всех ранее указанных недостатков данного способа.

Обработка облаков для получения осадков может осуществляться и безреагентным способом. В Объединенных Арабских Эмиратах проводят испытания беспилотных летательных аппаратов, которые испускают электрические разряды в облака. При этом изменяется баланс электрического заряда на поверхности водяных капель в облаке, вызывая коалесценцию капель и их выпадение в виде дождя [16]. Несомненно, такой способ исключает негативные явления, связанные с реагентным засевом, однако он требует значительных расходов на производство и эксплуатацию достаточного количества беспилотников.

Постоянный интерес ученых вызывает возможность теплового воздействия на атмосферу с целью местного изменения климата.

Тепло может быть использовано для создания искусственных облаков и осадков в безоблачной атмосфере. Научным обоснованием этого способа является следующее: атмосфера Земли всегда содержит около $1,27 \cdot 10^{16}$ кг водяного пара, который образуется вследствие испарения с поверхности водоемов, влажной почвы и растений. Если весь этот водяной пар превратить в осадки, то вся поверхность Земли покроется слоем воды толщиной около 25 мм. Запас водяного пара постоянно обновляется за счет круговорота воды, совершая в течение года 8-9 гидрологических циклов длительностью около 40-45 дней. Т.о., в атмосфере имеется постоянный запас водяного пара для создания ИУО.

Кроме того, еще в древности было известно, что над мощными источниками тепла могут образовываться конвективные облака и осадки. Жители Южной Америки и Экваториальной Африки вызвали осадки, поджигая прерию и саванну для образования кучевых облаков. Такими источниками тепла могут являться лесные и другие крупные пожары, извергающиеся вулканы, нагретые солнцем горные вершины, «тепловые острова», формирующиеся над

крупными городами, крупными заводами и тепловыми электростанциями. Это связано с тем, что прогретый над источниками тепла воздух становится легче окружающего и поднимается вверх, стимулируя развитие термической конвекции и зарождение облаков, называемых «PyroClouds» и «IndustryClouds», которые иногда могут давать ливневые осадки в условиях, когда без таких источников тепла естественные облака и осадки не образуются. Поэтому многие известные способы вызывания дождя в засуху основаны на создании искусственных источников тепла.

Активные воздействия на атмосферные процессы, вентиляция открытых карьеров, городов, аэродромов, создание искусственных конвективных движений в атмосфере сопровождается большими энергетическими затратами [7].

Идею теплового воздействия на атмосферу использовал французский ученый Дессенс [7]. Именно он ввел в научный обиход термин «метеотрон», как название энергетической установки, при работе которой в данной местности возможно изменение погоды (микроклимат). Сконструированная им установка метеотрон, представляющая в упрощенном виде множество горелок, размещенных по концентрическим окружностям, устанавливалась на возвышенности. Нагрев нижних слоев воздуха осуществлялся за счет сгорания в свободной атмосфере дизельного топлива с расходом 1 т/мин, при этом расчетная тепловая мощность установки составляла $10^5 - 10^6$ кВт, что сравнимо с потоком солнечной радиации, получаемой 1 км² поверхности Земли. Так как площадь, занимаемая горелками метеотрона, примерно в 100 раз меньше, то локальный нагрев приземного слоя воздуха при работе метеотрона значительно превышал естественный нагрев. Возникновение облаков и осадков в виде дождя наблюдались в отдельных опытах.

Первая известная система метеотронного типа «FIDO», состоящая из двух параллельных трубопроводов с форсунками по обе стороны взлетно-посадочной полосы аэродрома использовалась в Англии в 1943 году на одном из военных аэродромов для борьбы с туманами и улучшения условий посадки самолетов. Подобные установки испытывались в аэропорту «Орли» во Франции и на Кубе [7].

Все известные тепловые установки метеотронного типа для исследования возможности создания микроклимата объединяет способ тепловыделения сжиганием больших количеств топлива в приземном слое атмосферы. Тепловая мощность известных установок приближается к $2 \cdot 10^9$ Вт.

Метеотроны, созданные в Институте прикладной геофизики Госкомгидромета СССР, имели 4 или 10 реактивных двигателей. Они предназначались для исследования возможности создания искусственных облаков и осадков и имели мощность 200 и 500 МВт. Также для пополнения уровня воды в высокогорном озере Севан на его берегу был построен «Супер-метеотрон», содержащий 6 двигателей с общей мощностью 500 МВт [3]. Благодаря полному сгоранию топлива эти метеотроны гораздо меньше загрязняли атмосферу, чем метеотроны Дассенса.

Учеными Советского Союза были разработаны методика для локального изменения погоды и установка на базе турбореактивных двигателей РД-3М. Установка позволяла создать восходящие вынужденно-конвективные струи за счет начального нагрева до 1000 К и высокой (около 500 м/с) начальной скорости. Нагретые вертикальные воздушные струи воздуха использовались с разной степенью эффективности для очистки от загрязнений атмосферы угольных и рудных карьеров [1, 4]. Вынужденно-конвективные струи при сохранении потока импульса характеризуются быстрым набором массы воздуха (эффект вовлечения или эффект эжекции), снижением начальной температуры и резким падением характерной скорости, что приводит к снижению дальности по высоте.

Значительный относительно температуры окружающей среды начальный перегрев воздуха позволяет увеличить высоту подъема струй. Перегретый воздух поднимается до тех пор, пока его температура не сравняется с температурой окружающей среды, и вниз он уже не опускается в заданном интервале времени. Теплый воздух при наличии благоприятной неустойчивой стратификации атмосферы и достаточного начального перегрева, может подняться выше уровня конденсации с образованием облака [6].

Известен способ рассеяния теплых туманов и низких слоистых облаков тепловым методом [5], по которому нагревают воздух со взвешенными гидрометеорами на 1,5°C при начальной температуре 0°C (водность тумана 0,2 г/м³), что снижает относительную влажность со 100 до 94-95%. Это приводит к испарению капель воды, за счет чего туман временно рассеивается. Тепловые источники размещаются в шахматном порядке, обеспечивая равномерное распределение тепла на единицу площади. В каждом тепловом источнике имеется горючий состав с высокой теплотворной способностью и высокодисперсный порошок карбида кальция, отделенные друг от друга. При сгорании горючего состава выделяется большое количество тепла ($1 \dots 10 \cdot 10^4$ ккал) и в образующийся в тумане просвет разбрасывается порошок карбида кальция, взаимодействующий с атмосферной влагой. Возникает экзотермическая реакция с выделением тепла, а также адсорбция влаги частицами карбида кальция. Таким образом уменьшается водность тумана при одновременной коагуляции водяных капель, частицы порошка увеличиваются до критических размеров и выпадают в виде осадков. При применении данного способа уже через 3-5 с метеорологическая дальность видимости повышается до 2 и более километров. За это же время туман поднимается до 25-30 м, и распространяется в ширину до 30-40 м, переходя в стадию облака, после чего скорость роста облака замедляется.

Описанный способ даёт достаточно хороший эффект, но требует значительных энергетических затрат для прогрева больших облачных объемов, установка громоздка и сложна в оперативном управлении, лишена мобильности и не отвечает требованиям экологической безопасности для окружающей среды и населения [14].

Способ, предложенный М. Пашкевичем [14], предусматривает многоуровневую систему воздействия на инверсионные слои в тропосфере. Воздействие осуществляется за счет размещения группы автономных тепловых источников в требуемую область атмосферы. В качестве источников тепла рекомендованы высокоэнергетические боеприпасы, например, плазменно-оптического действия (калибра 30 мм, содержащие 0,02...0,04 кг взрывчатых веществ) [2]). При взрыве боеприпасов в атмосферу инжектируется плотная плазма и потоки оптического и теплового излучений. Схема воздействия инверсионные слои в атмосфере представлена на рисунке 2. Боеприпасы доставляются в нужные точки пространства с помощью артиллерийской установки со скорострельностью 400...10000 выстрелов в минуту на удаление до 5 км. После подрыва боеприпасов происходит столкновение инжектируемых электронов с атомами и молекулами воздуха, приводя к их ионизации и диссоциации. Взаимодействие водяного пара с заряженными частицами (электронами и ионами) сопровождается процессами гидратации (присоединения молекул воды к ионам с последующей коагуляцией) и конденсации с выделением теплоты конденсации. Способ позволяет в самом инверсионном слое (являющемся причиной возникновения тумана, облаков и т.д.) создать конвективное движение воздуха со скоростью 2-10 м/с, диаметром до 200 м, которое пробивает инверсионный слой и формирует облако по законам свободной конвекции.

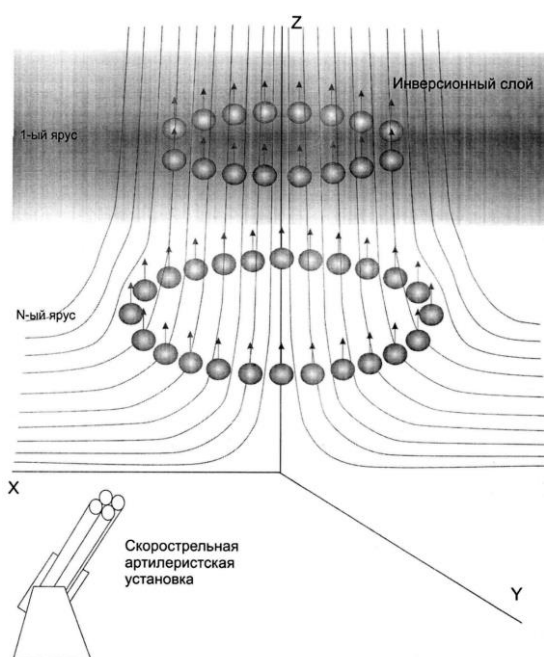


Рисунок 2. Схема внесения группы тепловых источников в тропосферу для разрушения инверсионного слоя [14]

На наш взгляд данный способ обладает очевидными недостатками - работа артиллерийской установки и взрыв боеприпасов сопровождается выбросом токсичных газов и создает мощное шумовое загрязнение.

Местное улучшение климатических условий очень актуально для глубоких и сверхглубоких карьеров, в которых регулярно наблюдается ухудшение качества атмосферы из-за плохой проветриваемости карьерного пространства, интенсивных взрывных работ; необходимости использования большого числа автотранспортных средств, являющимся одним из основных источников загрязнения атмосферы газами и пылью [1, 4]. При неблагоприятных метеорологических условиях (малый температурный градиент или температурная инверсия) все эти негативные явления усиливаются. Традиционными средствами искусственного проветривания карьеров являются самолетные и вертолетные винты, турбины и тепловые установки. Однако из-за сложности использования и дороговизны их применение не всегда возможно, к тому же сжигаемое в тепловых установках топливо, а также высокие скорости вентиляционных струй, сдувающих пыль с бортов, наоборот, ухудшает качество атмосферы [17].

Поэтому был разработан ряд технических решений интенсификации естественного проветривания карьеров за счет использования теплоты солнечных лучей [17].

Солнце – мощный, экологически чистый и повсеместно доступный источник энергии, формирующий погоду в естественных условиях. В малооблачную погоду в полдень нагрев зачерненной поверхности со всех сторон около 1 кВт/м².

Стимулирование создания облаков, а также проветривание карьеров можно осуществлять с помощью солнечных метеотронов, представляющих собой покрытые асфальтом, или черной тканью, или черными блоками участки поверхности земли, которые хорошо поглощают солнечную радиацию [19].

Способ Орановского В.В. [12] предусматривает создание приподнятого над землей зачерненного экрана и для повышения эффективности такого солнечного метеотрона окружить его системой поворотных зеркал, фокусирующих солнечную энергию на экран.

Для интенсификации конвективных потоков в карьере в летний период также целесообразно использовать солнечную энергию, отражаемую цельным (рис. 3) или разделенным на секции (рис. 4) плоским зеркалом, установленным на верхней кромке северного борта карьера.

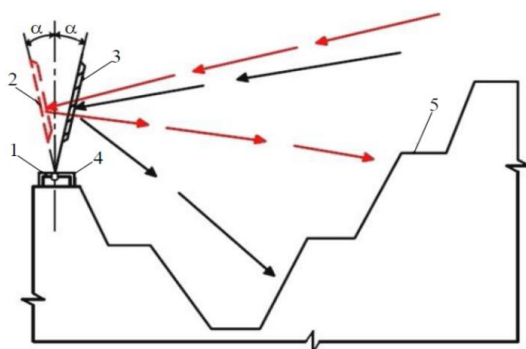


Рисунок 3. Прогрев карьерного пространства цельным зеркалом:

1 – шарнир; 2 – мачта; 3 – зеркало; 4 – платформа; 5 – карьерное пространство

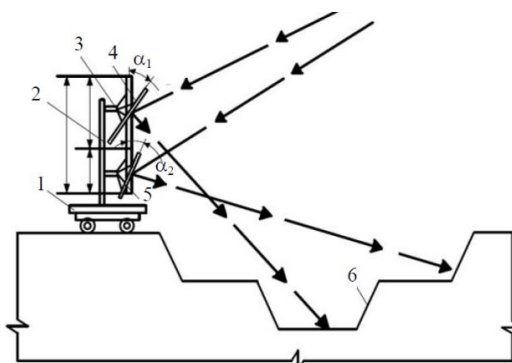


Рисунок 4. Прогрев карьерного пространства зеркалом, разделенным на секции:

1 – платформа; 2 – мачта для крепления зеркал; 3 – шарнир, обеспечивающий поворот мачты в горизонтальной и вертикальной плоскостях; 4 – верхняя секция зеркала; 5 – нижняя секция зеркала; 6 – карьерное пространство

Зеркала установлены на шарнирно-поворотной платформе 4. Наклон цельного зеркала 2 по вертикали в сторону карьерного пространства 5 и в противоположную сторону, а также поворот отражательного элемента в горизонтальной плоскости обеспечивает мачта 1, шарнирно закрепленная на платформе 4, разделенного на секции 3 и 5 зеркала – шарниры 1, закрепленные на мачте 2, установленной на платформе 4. Наклон и поворот зеркал обеспечивают обогрев теневых бортов и днища в течение светового дня. В дождливую погоду наклон зеркал обеспечивает смыв с них пыли.

Под воздействием солнечных лучей можно обеспечить нагрев северного борта до 50 °С и выше. Солнечная радиация, отраженная плоскими зеркалами на южный борт карьера также под углом, близким к 90°, способна нагреть его поверхность до 30-40 °С и более. Таким образом, у южного борта возрастает

скорость конвективного потока, которая увеличивается с ростом температуры поверхности откоса борта карьера [17].

Солнечная энергия может быть использована не только для проветривания карьеров. Известен способ разрушения слоя инверсии температуры в атмосфере конвективными струями, создаваемыми тепловыми источниками в виде аэростатов с зачерненной боковой поверхностью, обогреваемых солнечными лучами. [27]. Множество аэростатов располагают над верхней границей инверсионного слоя. Их нагретые Солнцем поверхности излучают тепло над выбранным участком, искусственно создавая восходящие тепловые потоки.

Данный способ может использоваться в условиях слабой облачности и не способен обеспечить разрушение мощных слоев атмосферной инверсии, лежащих ниже тепловых источников.

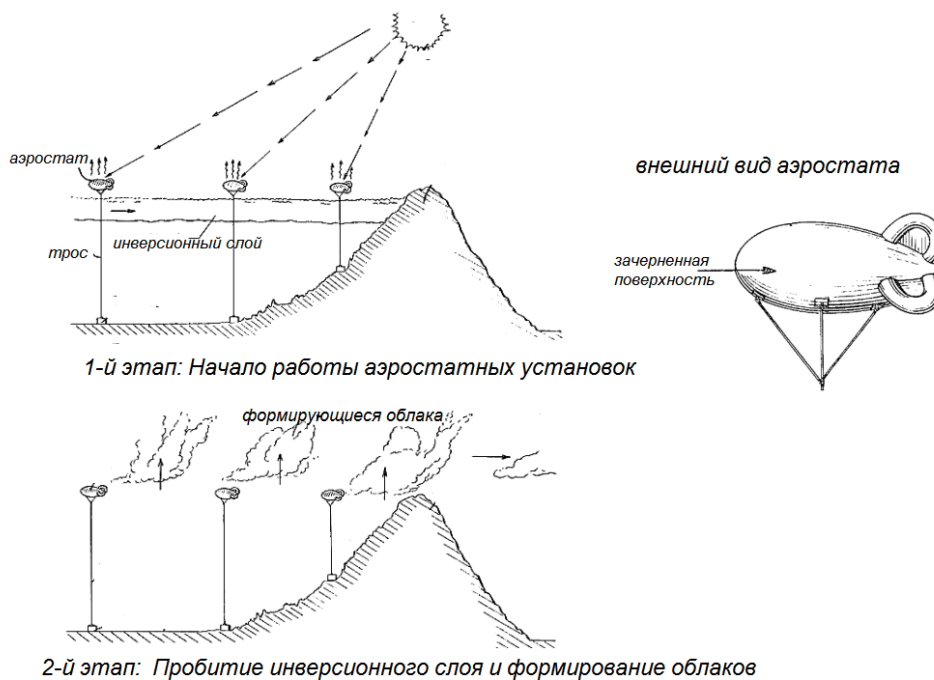


Рисунок 5. Схема размещения аэростатов, создающих конвективные струи

Существует аналогичный способ разрушения атмосферной температурной инверсии конвективными струями от аэростатов с тепловыми источниками, которые перемещают от верхней границы инверсионного слоя к его нижней границе [13]. Когда нагреваемый воздух под нижней границей инверсионного слоя становится теплее, чем над верхней его границей, он получает ускорение за счет разности плотностей нагретого и холодного воздуха и инверсионный слой пробивается. Таким образом возможно разрушить только слабые инверсионные слои. Аэростат неспособен создать восходящий поток значительного поперечного сечения и поддерживать необходимое тепло в большой толщине слоя. После перемещения источника тепла вниз восходящий поток постепенно будет сжиматься и терять свою кинетическую энергию, в том числе из-за вовлечения холодных воздушных масс из прилегающего воздушного пространства.

Ещё одним вариантом использования аэростатов является гелиатор [8], представляющий собой многоярусную систем привязных баллонов с нагреваемой солнцем зачерненной поверхностью. Для повышения тепловыделения на каждом ярусе баллонов закреплены заземленные эмиттеры электронов, коронирующие в электрическом поле Земли. Высота верхнего и нижнего ярусов, их форма, размеры и расстояния между ними зависят от метеоусловий и поставленных задач.

Нагреваемые Солнцем поверхности баллонов из зачерненного материала отдают тепло окружающему воздуху, создавая восходящий свободный конвективный поток. Поднимающийся воздух достигает следующего яруса баллонов и получает дополнительный нагрев; процесс повторяется до достижения необходимой высоты. Расстояние между ярусами должно быть таким, чтобы воздух успел достигнуть следующего яруса баллонов, не остыв. Таким образом, вдоль оси установки формируется восходящий поток нагретого в виде гибкого столба требуемой высоты. Зачерненные поверхности всех поднятых ярусов нагреваются солнцем в малооблачную погоду, когда требуется создание восходящих потоков в атмосфере для развития конвективных облаков и осадков.

Очевидными достоинствами установки являются экологичность (за счет отсутствия каких-либо реагентов и процессов горения) и относительно низкая стоимость.

Павлюченковым В. [8] была предложена усовершенствованная версия такой установки - гелиатор-1 (рис. 6), в которой зачерненные баллоны 2, заполненные гелием, объединены системой тросов 1 в ярусы. Внутри рамы для крепления баллонов радиально натянуты провода-спицы 3, являющиеся излучателями электронов путем коронного разряда. Такой разряд возникает вблизи электродов с малым радиусом кривизны в резко неоднородном электрическом поле. Поле в нижней атмосфере составляет около 100 В/м, поэтому с заземленного аэростата на высоте 300 м путем коронного разряда экспериментально была получена мощность до 0.7 кВт в спокойной атмосфере,

что позволяет получить в окружающем воздухе тысячи однозарядных ионов, являющихся эффективными центрами конденсации влаги.

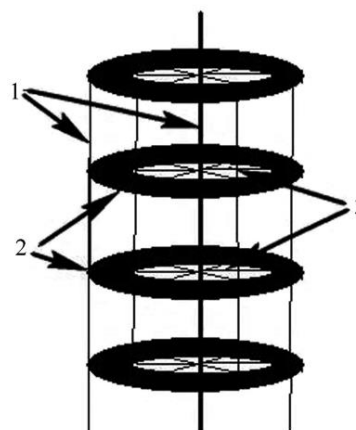


Рисунок 6. Схема Гелиатора - 1 [8]

1 – силовые тросы, один трос заземлен, 2 – зачерненные баллоны с гелием, 3 – проводящие заземленные спицы.

К недостаткам всех аэростатных устройств можно отнести громоздкость, потребность в большом количестве гелия и сложности работы при боковом ветре.

Подобные устройства предлагается применять в сельском хозяйстве для создания микроклимата полей [11].

Абшаевым М. [15] предложен способ создания искусственных облаков и осадков, основанный на нагревании солнцем искусственного аэрозольного слоя, генерируемого дымовыми шашками (рис. 7). Использование дымовых шашек позволяет получить сплошной аэрозольный слой из частиц размерами 0,1...0,8 мкм на площади не менее 1 км², который интенсивно поглощает солнечную радиацию и способствует формированию восходящих воздушных потоков. Генерируемые дымовыми шашками аэрозольные частицы имеют электрические заряды, разветвленную форму и активные гигроскопические свойства [18], то есть могут служить активными центрами конденсации водяного пара даже в насыщенном воздухе. Одним из вариантов создания аэрозольного слоя является распыление водного раствора карбамида, морской воды или других жидкостей в струе турбореактивного двигателя (рис. 8). При таком способе можно оперативно создать аэрозольное облако, начальный перегрев которого до 500 °С обеспечивает его высокую плавучесть, а создание начального импульса восходящего потока с большой скоростью (400-600 м/с) позволяет пробить задерживающие слои и подняться в устойчивой атмосфере до высоты 400 м, в слабоустойчивой атмосфере до 1000–1500 м, а при наличии слоя неустойчивости или слоистообразной облачности до 3000–4500 м, приводя к образованию конвективного облака [3]. Этот способ создания искусственных облаков объединяет возможности солнечного и струйного метеотронов.



Рисунок 7. Создание аэрозольного слоя дымовыми шапками маскировочного действия

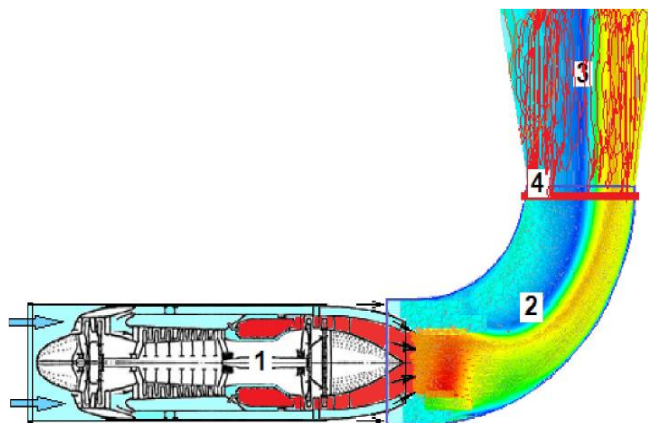


Рисунок 8. Схема установки для создания аэрозольного слоя путем мелкодисперсного разбрызгивания морской воды или водного раствора карбамида в реактивной струе [15]

1 – турбореактивный двигатель, 2 – эжектор-отвод, 3 – реактивная струя, 4 – устройство впрыскивания рабочей жидкости в реактивную струю

У описанного способа имеются существенные ограничения по применению: оптимальным временем суток для создания искусственных облаков является период максимального прогрева приземного воздуха с 14³⁰ до 18⁰⁰, а наилучшим местом для реализации – наветренный фланг горы или горного хребта с высотой над уровнем моря около 1000-1500 м. Такие условия сильно ограничивают возможности использования данного способа. Кроме того, очевидно, что массивный выброс аэрозолей в воздух способствует загрязнению окружающей среды.

Схожий способ нагрева приземного слоя атмосферы был разработан Ingel L. [20], который для уменьшения торможения восходящей струи метеотрона, работающего за счет сжигания топлива, предложил вводить в струю сажу. Сажа, содержащаяся в струе нагретого воздуха, поглощает коротковолновое солнечное излучение может заметно способствовать подъему струи.

Все рассмотренные способы позволяют с той или иной степенью эффективности осуществлять локальное управление некоторыми климатическими условиями на открытых местностях. Однако одной из основных экологических проблем современности является загрязнение воздуха городов, сопровождающееся формированием устойчивых куполов загрязнений. Такое явление во многом объясняется тем, что над городами образуются тепловые острова -

локальные слои инверсии, не позволяющие загрязнениям рассеиваться в атмосфере [26].

Поэтому вопрос искусственного проветривания городских улиц становится все более актуальной проблемой. Чаще всего предлагается обеспечивать проветривание города за счет перепланировки городской застройки, как предлагается, например, в [25, 28]. Однако для уже сформировавшихся крупных городов такой способ практически не осуществим.

По нашему мнению, для вентиляции перекрестков может быть применен солнечный метеотрон жесткой конструкции, описанный в [9]. Такой метеотрон представляет собой высокую (50-60 м) вытяжную трубу с размещенными на ней гелионагревателями. Такая конструкция будет нагревать воздух аналогично гелиатору, описанному ранее, и способствовать выносу вредных примесей. На место унесенной массы в приземный слой будет поступать более чистый воздух, что позволит несколько оздоровить метеобстановку улицы.

Следует отметить, что подобные устройства, называемые солнечными дымоходами, применяются в США для вентиляции зданий (рис. 9). В солнечных дымоходах воздушный поток создается в вертикальной шахте за счет разницы температур между верхней и нижней частями шахт, причем верхняя часть шахты обогревается солнечным излучением [24].

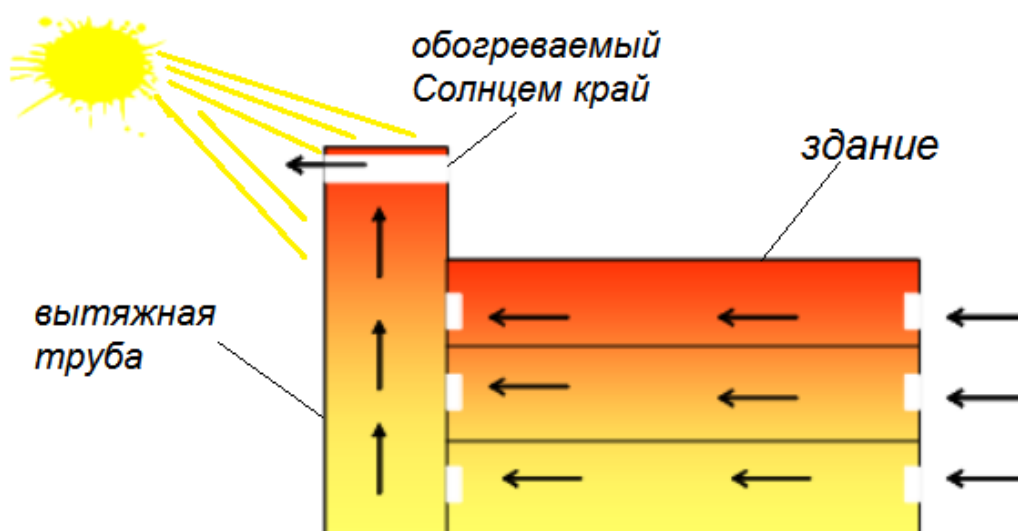


Рисунок 9. Схема работы «солнечного дымохода»

Несмотря на определенные возможности и перспективы применения различных метеотронов, следует иметь в виду, что эффективность их работы нестабильна и зависит от температурных условий в атмосфере. Исследования Диденко А.Ю. [10] показали, что конвекция в атмосферном слое развивается сама (перегрев равен нулю) при условии:

$$\gamma = \gamma_a, \quad (1)$$

где γ – градиент температуры окружающего воздуха, °С/км; γ_a – сухоадиабатический градиент температуры, °С/км

Если же $\gamma = \gamma_r$, т. е. вертикальный градиент температуры равен вертикальному градиенту точки росы ($\gamma_r = 1,7$ °С/км), перегрев равен бесконечности и конвекция невозможна. То есть, в случае, когда приземный слой атмосферы от уровня земли до уровня конденсации имеет градиент температуры, равный $\gamma = \gamma_r$, то все попытки искусственного стимулирования конвекции за счет нагрева безуспешны. Если же

толщина задерживающих слоев меньше указанного слоя, то они могут быть пробиты.

Заключение

Из проведенного обзора можно сделать следующие выводы:

Несмотря на многообразие способов воздействия на погодные условия, до сих пор не найдено решение климатических проблем глобального масштаба.

Большинство разработанных методов сопряжено с загрязнением окружающей среды и значительными финансовыми и энергетическими затратами. Поэтому для исключения вредного воздействия на окружающую среду более привлекательными являются солнечные метеотроны.

Метеотроны могут применяться для искусственной вентиляции городских улиц. Дальнейшие исследования должны быть направлены на совершенствование городских метеотронов и испытание их конструкции в реальных условиях.

Список литературы:

1. Аэрология карьеров : Справочник / П.В. Бересневич, В.А. Михайлов, С.С. Филатов. - М. : Недра, 1990. – 279.
2. Взрывной плазменно-вихревой источник оптического излучения // Патент РФ № 2462008, 2012. Бюлл. №26 / Артюх С.Н., Архипов В.П., Буланов С.С.
3. Вульфсон Н.И., Левин Л.М. Метеотрон как средство воздействия на атмосферу. М.: Гидрометеиздат, 1987. – 131 с.
4. Голинько В.И., Лебедев Я.Я., Муха О.А. Вентиляция шахт и рудников. Днепропетровск: Национальный горный университет, 2012. – 266 с.
5. Калов Х.М. Метод рассеяния теплых туманов и низких слоистых облаков. Труды ВГИ 2001 г., вып. 91, с. 62-69.
6. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. 2-е изд., перераб. и доп. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1978.
7. Кузнецов А.А., Конопасов Н.Г. Метеотрон. В 2 кн. Кн. 1. Научно-исследовательский комплекс. Владимир Изд-во Владим. гос. ун-та ВлГУ, 2015.
8. Павлюченко В.П. Создание искусственных восходящих потоков в атмосфере с помощью многоуровневого устройства // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2019. №5. С. 21-28.
9. Радкевич В.Е., Радкевич М.В. А не подогреть ли воздух над перекрестком? // Наука и жизнь. № 11, 2008. - С. 35.

10. Симахина М.А., Волкова В.И., Закирян А.Р., Диденко А.Ю. К проблеме искусственного стимулирования конвекции в атмосфере // Наука. Инновации. Технологии. 2018. №4.
11. Система регулирования микроклимата сельскохозяйственных полей // Патент РФ № 2621264, 2017. Амерханов Р., Авджян Н.С., Дайбова Л.А., Кириченко А.С.
12. Способ вызывания атмосферных осадков // Патент РФ № 2071243. 10.01.1997 / Орановский В.В.
13. Способ проветривания карьеров // А.С. SU 901561, 1982. Бюлл. № 4 / Васильев М.В., Павлов А.И.
14. Способ разрушения слоя инверсии температуры в тропосфере // Патент РФ № 2694200, 2019 Бюл. № 19/ Пашкевич М.Ю.
15. Способ создания искусственных облаков и осадков. Патент РФ № 2732710, 2020. Бюл. № 27 / Абшаев М.Т.
16. Чикунов И. Вызвать дождь без магии. Искусственные осадки и риск для окружающей среды. (2021) / [Электронный ресурс]. - Режим доступа: URL: <https://knife.media/induced-rain/> (дата обращения: 25.05.2022).
17. Шахрай С.Г., Курчин Г.С., Сорокин А.Г. Новые технические решения по проветриванию глубоких карьеров// Записки Горного института. 2019. Т. 240. С. 654-659
18. Шидловский А.А. Основы пиротехники. М.: Машиностроение, 1973. - 280 с
19. Brenig L., Zaady E., Vigo-Agular J., Karnieli A., Fovell R., Arbel Sh., Al Baz I., Offer Z.Y. Cloud formation and rainfalls induced by artificial solar setting: A weather engineering project for fighting aridity. Geographical Forum – Geographical studies and environment protection research. Year 7, No 7 / 2008. P. 67-82.
20. Ingel L. (2010). Radiation amplification of the meteoron effect. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 83. 122-129. 10.1007/s10891-010-0326-2.
21. Method of modifying weather // US Patent № 6315213, 2001 / Cordani P.
22. Methods of treating atmospheric conditions // US Patent № 3608810, 1971/ Kooser E.
23. Nace T. China Is Launching Weather-Control Machines Across An Area The Size Of Alaska. Available at: <https://www.forbes.com/sites/trevornace/2018/05/10/china-is-launching-a-massive-weather-control-machine-the-size-of-alaska/?sh=5488291f6315>
24. Natural Ventilation in Urban Areas Matheos Santamouris, NKUA. Ventilation Information Paper. No 3. March 2004. Available at: https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/VIP/VIP03.Urban%20Ventilation.pdf
25. Palusci O., Cecere C. Urban Ventilation in the Compact City: A Critical Review and a Multidisciplinary Methodology for Improving Sustainability and Resilience in Urban Areas. Sustainability 2022, 14, 3948.
26. Sokolskaya O.N., Giyazov A.I. Urban and ecological prerequisites for the development of the Black Sea cities in the Krasnodar region with consideration of thermal and wind processes. Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie [Construction: Science and Education]. 2020; 10(3):3. DOI: 10.22227/2305-5502.2020.3.3
27. Solar temperature inversion device. US Patent № 3666176A, 1972 /Carter S.R.
28. Yin J., Zhan Q., Tayyab M. The Ventilation Path Assessment of Urban Street in Wuhan. Polish Journal of Environmental Studies. 2021; 30(3):2877-2889. doi:10.15244/pjoes/130518.