

Алгоритмы модификации погодных условий с использованием беспилотных летательных аппаратов

И. Е. Кузнецов, email: vaiumet@mail.ru 1

А. И. Кузнецов, email: vaiumet@mail.ru 2

¹ ВУНЦ ВВС «ВВА им. Проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

² МБОУ Лицей №6 г. Воронеж

***Аннотация.** В данной работе рассматриваются алгоритмы модификации облаков и осадков с использованием беспилотных летательных аппаратов.*

***Ключевые слова:** модификация погоды, туманы, алгоритмы, беспилотные летательные аппараты, программа.*

Введение

Наметившийся рост опасных явлений погоды, связанный в первую очередь с климатическими изменениями, диктует необходимость разработки алгоритмов изменения погодных условий с целью снижения ущерба от их влияния на различные отрасли народного хозяйства. Существующие подходы к воздействию на атмосферные процессы и явления предусматривают использование различных реагентов путем их непосредственной доставки в облачные зоны с опасными явлениями погоды в основном специализированными грузовыми транспортными самолетами типа Ан-12, Ан-26, Ан-28, Ан-30, Ан-32, Ан-72, Ил-18, М-101 «Гжель» и Су-30, что делает такой процесс не всегда эффективным. Применяемые средства засева могут быть токсичными и, как правило, оказывают влияние на экологическую ситуацию [1, 3-5]. Особую популярность в различных сферах хозяйственной деятельности приобретают беспилотные летательные аппараты. Это связано в первую очередь с их возможностями выполнять задачи с меньшими финансовыми затратами, большей безопасностью и неприхотливостью к метам взлета и посадки по сравнению с пилотируемыми комплексами. Возможность их использования для решения задачи воздействия на атмосферные явления и процессы требует разработки соответствующего методического аппарата, реализованного в виде численных схем и алгоритмов.

В настоящее время воздействия на облака возможны в следующих случаях [1-5]:

вызывание осадков из облаков, которые в своем естественном развитии не достигли дождевой стадии, с целью увлажнения почвы, создания дополнительного снегозапаса или предотвращения лесного пожара;

интенсификация слабых или умеренных осадков с целью увеличения водосбора отдельных бассейнов;

интенсификация процесса образования осадков из фронтальных облаков на подступах к определенной территории с целью ослабления или полного прекращения осадков над самой территорией;

рассеяние низкой облачности с целью выполнения посадки или взлета летательных аппаратов, а также прямого визуального просмотра с высоты наземных или, наоборот, с земли высотных целей и т.д.

Таким образом, все виды воздействий сводятся к двум основным направлениям: воздействиям с целью рассеяния облаков и воздействиям с целью вызывания (усиления) осадков.

Целью статьи явилось повышение качества модификации погодных условий путем разработки алгоритмов применения беспилотных летательных аппаратов и выбора способа воздействия на атмосферные явления для снижения возникновения непоправимого ущерба.

1. Способы применения беспилотных летательных аппаратов и алгоритмы воздействия на облака и туманы

Одними из наиболее опасных с точки зрения взлета и посадки воздушных судов являются облака и туманы. Возможность воздействия на них ограничены тем, что в них отсутствует потенциальная фазовая неустойчивость, характерная для переохлажденных аэрозолей. Аэродисперсная система коллоидально устойчива, если она состоит из мелких капель, размеры которых мало отличаются друг от друга. Для нарушения устойчивости в облака или туман необходимо ввести частицы, которые ввиду специфических свойств могли бы быстро расти. Одними из таких веществ являются гигроскопические. В качестве гигроскопических веществ (реагентов) обычно используют следующие вещества: NaCl (поваренная соль), CaCl₂ или CaCl₂ · nH₂O (кристаллогидрат хлористого кальция), как реагенты представляют интерес и некоторые минеральные удобрения (CO(NH₂)₂ – карбамид, NH₄NO₃ – аммиачная селитра и некоторые другие) [1, 2].

Природа действия гигроскопических реагентов следующая. При введении в туман гигроскопических веществ (частиц-ядер конденсации или капель растворов), последние начинают быстро расти вследствие того, что давление водяного пара у поверхности гигроскопических реагентов оказывается значительно меньше, чем у поверхности капель тумана. Капли гигроскопических реагентов начинают быстро расти,

поглощая водяной пар, поэтому давление в тумане становится меньше насыщающего над каплями и капли испаряются. Этот процесс называется процессом конденсационной перегонки водяного пара с капель на реагенты. Перегонка происходит как в переохлажденном тумане, так и в тумане при положительной температуре. Однако по мере роста капель реагента концентрация растворенных в них солей, а тем самым и эффект снижения давления уменьшается, что является основной причиной, ограничивающей эффективность применения данного метода рассеяния тумана. При удачно подобранной концентрации капель реагента происходит улучшение видимости в тумане или его рассеяние. Такой подход требует большого количества реагента, что затруднительно при использовании БпЛА. Необходимо понимать, что при малой концентрации реагента просветление тумана окажется ничтожным, а при чрезмерной – видимость может не только не улучшаться, а наоборот – ухудшаться. Это произойдет в том случае, если суммарная площадь поперечного сечения вносимых в туман частиц реагента окажется больше, чем суммарная площадь поперечного сечения капель тумана до воздействия на него. Таким образом, улучшение видимости в тумане или его рассеяние происходит только при оптимально подобранной концентрации капель реагента. Повысить неустойчивость тумана или облачности возможно путем ионизации капель. Ионизатор легко размещается на беспилотнике.

Отдельным аспектом воздействия с применением БпЛА является выбор схемы засева. Полет при этом должен осуществляться по линии воздействия перпендикулярно направлению ветра на заданной высоте полета. В зависимости от скорости ветра предлагается использовать следующие схемы засева:

при скорости ветра $U \leq 3 \text{ м/с}$ - штилевую схему засева (рис. 1а), т.е. полет осуществляется змейкой от ближнего привода аэродрома в наветренную сторону;

при скорости ветра $4 \text{ м/с} \leq U \leq 12 \text{ м/с}$ - линейную схему засева (рис. 1б), полет осуществляется вдоль постоянной относительно местности линии с учетом смещения зоны рассеяния.

Количество БпЛА выбирается исходя из необходимого объема просветляемой зоны. При этом следует учитывать местные физико-географические особенности и тактико-технические характеристики выбираемых дронов. Для этого предлагается использовать следующий подход. Зная направление ветра, а также направление и длину просветляемой зоны (например, взлетно-посадочной полосы), можно определить длину воздействия L_v и глубину воздействия M (рис. 2.), а затем рассчитать необходимое количество БпЛА.

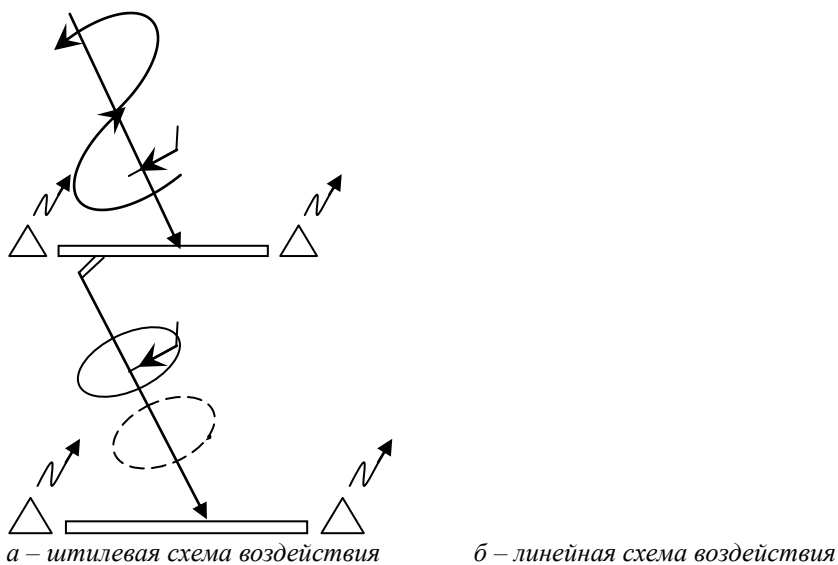


Рис. 1. Типовые схемы засева слоистой облачности и тумана

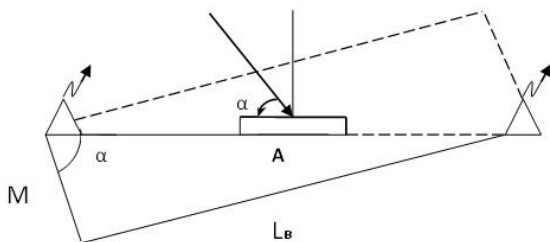


Рис. 2. Построение треугольника схемы воздействия.

Для расчета возможности воздействия с использованием БПЛА рассмотрим туман, в котором существуют капли радиусом r_0 , образовавшиеся на ядрах конденсации с концентрацией n_0 . В туман вносят капли реагента радиусом R_n с концентрацией N или же их ионизируют. Для максимального размера капли, выросшей на частице реагента (ионизированной капли), можно определить оптимальную концентрацию раствора реагента (ионизированных капель) [2]. Зная оптимальную концентрацию капель гигроскопического реагента, можно

рассчитать расход реагента [2]. Как указывалось выше, оптимальной концентрации раствора реагента соответствует максимальное значение видимости. Известно, что величина видимости зависит от размеров капель и их концентрации, тогда ее значение несложно получить имея эти данные. Поскольку процесс коагуляции и выпадения капель происходит в динамике то и расчеты должны быть проведены с учетом изменения во времени заданных характеристик.

2. Численный эксперимент

Для оценки эффективности предложенных алгоритмов были проведены численные эксперименты по данным натурных наблюдений за туманами в Воронежской области. В качестве исходных данных брались данные температурно-ветрового зондирования атмосферы. По радиолокационным измерениям оценивалась водность облаков и туманов. В качестве схемы засева бралась штилевая. Размеры частиц реагента варьировались в различных пределах. Полученные результаты представлены на рис. 3, 4.

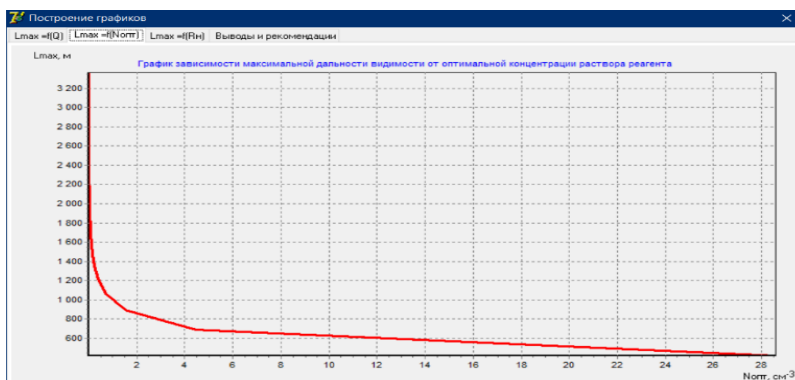


Рис. 3. График зависимости видимости в тумане от концентрации внесенного реагента

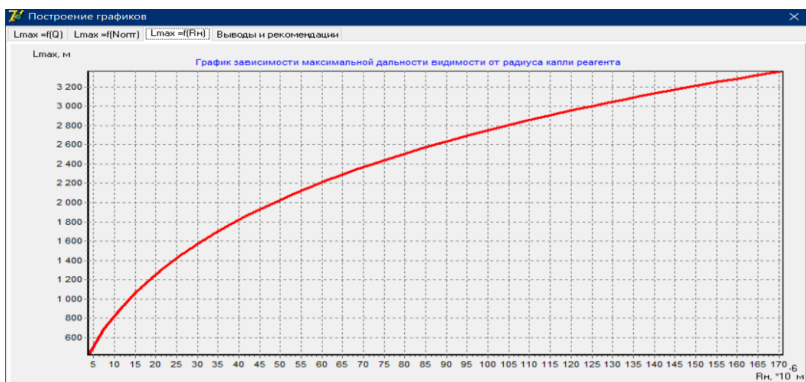


Рис. 4. График зависимости видимости в тумане от размеров образовавшихся частиц

Анализ графиков позволяет заключить, что при повышении концентрации вносимых капель видимость существенно снижается. При этом существует его оптимальное значение. При увеличении размеров капель реагента видимость в тумане начинает расти нелинейно.

Заключение

Проведенное исследование и полученные результаты позволяют заключить о повышении эффективности воздействия на теплые облака и туманы с использованием БпЛА с ионизатором на борту по сравнению с традиционными методами.

Список литературы

1. Качурин, Л. Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы / Л. Г. Качурин. – Л.: Гидрометиздат, 1990. – 464 с.
2. Дорофеев, В.В. Воздействие на атмосферные процессы и явления / В.В. Дорофеев, И. Е. Кузнецов, А.Н. Маслбойщиков. – Воронеж: ВАИУ, 2010. – 164 с.
3. Зыкова, Е. Х. Воздействие на атмосферные процессы и явления / Е. Х. Зыкова; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. образования "Забайкальский гос. ун-т". – Чита: Забайкальский гос. ун-т, 2016. – 117 с.
4. Пермяков, Г. Н. Атмосферные явления природы и их регулирование / Г. Н. Пермяков. – М: Нестор-История, 2012. – 100 с.
5. Электронный каталог РГБ [Электронный ресурс]: база данных. – Режим доступа: <https://www.rsl.ru>

