

Рассеяние туманов и низких слоистых облаков тепловым и динамическим методами

А.В. Шаповалов, Х.М. Калов, В.А. Шаповалов, Р.Х. Калов

Высокогорный геофизический институт, Нальчик

Аннотация: В работе приведены результаты численных оценок рассеяния дисперсной среды (тумана) с применением тепловых и динамических устройств. Для получения результатов использовались методы численного моделирования. На основе расчетов анализировалось применение разных классов горючих веществ (керосин и др.) для рассеяния тепловым способом, который основан на нагревании воздушно-капельной среды до температуры выше точки росы, чтобы капли, из которых состоит туман, испарились. Рассмотрены технические устройства различной мощности для перекачки воздуха из зоны просветления, т.е. использующие способ динамического рассеяния. Динамический способ основан на создании потока сухого воздуха, находящегося над слоем дисперсной среды. В этом случае, поступающий сверху или сбоку более сухой воздух вызывает испарение частиц дисперсной среды, что приводит к уменьшению ее плотности.

Ключевые слова: дисперсная среда, низкие слоистообразные облака, метод теплового рассеяния, метод динамического рассеяния, теплотворная способность веществ, зона просветления.

Введение

Как тепловой, так и динамический методы достаточно известны среди специалистов по рассеянию теплых туманов (дисперсной среды) [1 – 4]. При этом, для рассеяния продолжают пока использоваться горючие вещества - нефтепродукты, которые являются экологически вредными. Например, при тепловом методе воздействия используется экологически вредный авиационный керосин, продукты горения которого загрязняют воздух и почву в районе аэропортов. Еще, как показывает анализ имеющихся публикаций, при рассеянии дисперсных сред динамическим методом применяют технические устройства (различные компрессоры, отработавшие авиационные двигатели, и др.) мощность которых пока недостаточно теоретически обоснована [5, 6 – 8]. Для рассеяния дисперсных сред при температурах выше минус 3°C (переохлажденные

туманы) используются различные хладореагенты [9 – 11]: углекислота, ропан, жидкий азот и др.

Целью настоящей работы является проведение расчетов, направленных на выбор экологически чистых веществ для метода теплового рассеяния туманов, с меньшим расходом топлива, и на оценку зависимости скорости понижения верхней границы облачной среды от производительности технических устройств, которые используются при динамических вариантах рассеяния [6, 8].

Метод теплового рассеяния дисперсной среды основан на физике, заключающейся в нагревании воздушно-капельной среды до температуры выше точки росы, чтобы испарились капли тумана. Чтобы уменьшить относительную влажность воздуха от 100 до 94 %, что является необходимым условием для рассеяния дисперсной среды [7], нужно повысить температуру на 1,35 - 1,5 °С при ее начальной температуре 0 °С (для водности среды 0,2 г·м⁻³), или на 1,25 - 1,45 °С - при ее начальной температуре 5 °С.

В работе теоретически проанализировано использование таких горючих веществ, как: керосин, бензин, ацетилен, водород для рассеяния дисперсных сред тепловым способом.

Способ динамического рассеяния теплых туманов [6, 8] основан на создании нисходящих потоков более сухого воздуха, находящегося выше рассеиваемой дисперсной среды. В этом случае, поток воздуха, направленный вниз, являясь ненасыщенным и более сухим относительно воздуха в тумане, вызывает испарение капель, что способствует его рассеянию.

В работе, для получения результатов использованы, в том числе, технологии численного моделирования [12].

Тепловой способ рассеяния дисперсной среды

В данном исследовании рассматривалась модель теплого тумана на основе уравнения теплопроводности для одномерного случая, в которой принято равномерное распространение тепла по всему объему. Не приводя математических выкладок, которые приняты по работе [6], отметим лишь, что этот блок расчетов направлен на исследование прогрева дисперсной среды, имеющей положительную температуру, над взлетно-посадочной полосой (ВПП) в условиях отсутствия ветра и при наличии слабого ветра, с применением горючих веществ с различной теплотворной способностью и различными экологическими характеристиками.

Для прогрева пространственного объема с дисперсной средой высотой $h = 100$ м над ВПП размером 100×1000 м с целью ее рассеяния и повышения дальности видимости, в условиях штиля, требуется количество тепла Q , которое рассчитывается по формуле:

$$Q = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где V – объем рассеиваемой дисперсной среды; c_p – удельная теплоемкость воздуха; ρ – плотность воздуха; ΔT – увеличение температуры дисперсной среды.

За условие полного рассеяния дисперсной среды принято увеличение его температуры на $\Delta T = 1$ °С [6]. В данном случае расход горючего вещества P , необходимого для подогрева всего объема воздуха, определяется выражением:

$$P = \frac{Q}{\alpha}, \quad (2)$$

где α – теплотворная способность горючего вещества.

Некоторые результаты расчетов расхода различных горючих веществ, необходимого для подогрева объема воздуха с туманом, представлены в таблице №1.

Таблица № 1

Оценочный расход веществ на нагрев среды при отсутствии ветра

Горючее вещество	α , МДж/кг [13]	V , $м^3$	Q , ГДж	ΔT , $^{\circ}C$	Оценочный расход, P , кг
Керосин	44,0 – 46,0	10^7	12,6	1,0	280,0
Бензин	44,0 – 47,0				280,0
Ацетилен	48,1				263,0
Водород	120,0				105,0

В условиях с горизонтальным ветром, со скоростью v , направленной перпендикулярно к ВПП, для обеспечения прогрева на $\Delta T = 1^{\circ}C$ объема с туманом, длина которого l и высота h , в соответствии с [6], требуется в одну секунду количество тепла:

$$\frac{dQ}{dt} = l \cdot h \cdot v \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T . \quad (3)$$

Необходимый расход веществ вычисляется по формуле:

$$P = \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{1}{\alpha} . \quad (4)$$

Результаты оценочных расчетов, которые получены для скорости ветра 1,3 м/с, приведены в таблице №2.

Таблица № 2

Оценочный расход веществ на нагрев среды при скорости ветра 1,3 м/с

Горючее вещество	α , МДж/кг [13]	l , $м$	h , $м$	dQ/dt , МДж/с	ΔT , $^{\circ}C$	Оценочный расход, P , кг/с
Керосин	44,0 – 46,0	10^3	10^2	126	1,0	3,64
Бензин	44,0 – 47,0					3,60
Ацетилен	48,1					3,42
Водород	120,0					1,37

При наличии ветра в районе ВПП расход используемых в тепловых генераторах веществ возрастает.

Динамический способ рассеяния дисперсной среды

Оценка применения вентиляторов и компрессоров различных мощностей проведена по методике, аналогичной приведенной в работе [6].

Рассеяние дисперсной среды может происходить в результате обеспечения перемещения воздуха в просветляемой зоне с помощью системы устройств (отработавшие авиационные двигатели, компрессоры и т.д.). Эффект достигается за счет замещения дисперсной среды ненасыщенным воздухом из верхних слоев или сбоку.

Этот метод может применяться для активного воздействия (АВ) на теплые и переохлажденные туманы.

При рассеянии дисперсной среды на определенной площади, в частности над ВПП, система продувающих устройств (компрессоров, отработавших авиационных двигателей) должна располагаться вдоль просветляемой зоны с обеих её сторон.

В расчетах рассматривался случай низкого слоя дисперсной среды мощностью 6 м при отсутствии ветра. При этом, с целью получения максимально возможного эффекта, предполагалось, что линии тока воздуха в зоне просветления строго вертикальны.

Скорость опускания верхней границы дисперсной среды над ВПП размером 100×1000 м определялась формулой из работы [6]:

$$w_T = \frac{m_y \cdot N_y}{S}, \quad (5)$$

где N_y – количество устройств; m_y – производительность устройства; S – площадь ВПП.

Результаты расчетов для ВПП площадью $S = 10^5 \text{ м}^2$ приведены в таблице №3.

Таблица № 3

Изменение скорости понижения верхней границы тумана в зависимости от количества и производительности технических устройств

Производительность устройства, m_v , м ³ /мин	Число устройств, N_v	Скорость опускания верхней границы тумана, w_T , м/мин
6000	20	1,2
	25	1,5
	30	1,8
	35	2,1
12000	20	2,4
	25	3,0
	30	3,6
	35	4,2

Из таблицы 3 следует, что оперативное рассеяние теплых и переохлажденных туманов, высота которых больше, чем у пелены, вполне реализуемо с применением динамического подхода и технических устройств достаточной мощности.

Выводы

Проведенный анализ эффективности теплового и динамического способов рассеяния теплых туманов показал: при равномерном прогреве дисперсной среды объемом 10^7 м³ на 1,0 °С для полного ее рассеяния необходим расход керосина или бензина около 280 кг (0,028 г/м³), ацетилен – около 263 кг (0,026 г/м³), водорода – около 105 кг (0,012 г/м³). В данном случае, чем больше температура воздушно-капельной среды и меньше скорость ветра, тем ниже будет расход горючего материала.

Необходима разработка безопасного теплогенерирующего устройства, работающего на водороде, которое позволит уменьшить расход горючего в 2,7 раза по сравнению с нефтепродуктами (керосин) и улучшит такие показатели теплового способа, как экологичность и его оперативность.

При размещении устройств продувки воздуха на площади 10^5 м^2 увеличение их количества на 5 единиц приводит к равномерному увеличению скорости понижения верхней границы дисперсной среды на 0,3 м/мин при мощности устройств $6000 \text{ м}^3/\text{мин}$, и на 0,6 м/мин при мощности - $12000 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Увеличение мощности устройств может понизить время, затрачиваемое на рассеивание дисперсной среды за счет роста скорости опускания верхней границы, и поднять оперативность применения динамического метода для более мощных слоев, чем пелена.

Результаты, полученные в работе, предназначены для совершенствования существующих и разработки новых технических средств для активных воздействий на теплые туманы.

Литература

1. Kalov K.M., Kalov R.K. Calculation of the translucence zone during explosion of thermal charges in the cloudy environment // Russian Meteorology and Hydrology. 2018. Т. 43. № 4. pp. 218-226.
2. Банкова Н.Ю., Красновская Л.И., Сергеев Б.Н, Черников А.А. Моделирование процесса искусственного рассеяния теплых туманов нагретыми струями // Метеорология и гидрология. 2003. № 8. С. 48-59.
3. Захарова И.М. Просветление теплых туманов с помощью искусственных тепловых источников // Метеорология и гидрология. 1980. №5. С. 108-115.
4. Захарова И.М., Новикова Л.Д. Численная модель воздействия на теплые туманы // Метеорология и гидрология. 1987. №3. С. 24-32.
5. Калов Х.М., Калов Р.Х. Физические основы, методы и средства активных воздействий на грозоградовые облака и туманы. Нальчик: ООО «Полиграфсервис и Т», 2010. 220 с.
6. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 463 с.
7. Берлянд М.Е., Воронцов П.А., Красиков П.Н. и др. Туманы. [Под ред. Никандрова В.Я. Глав. упр. гидрометеоролог. службы при Совете Министров СССР. Глав. геофиз. обсерватория им. А.И. Воейкова]. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 388 с.

8. Васильева К.И. Численное исследование возможности создания зон просвета в тумане нисходящей струей от вертолета // Метеорология и гидрология. 1992. №11. С. 79-86.
9. Gerdel R.W. Note on the use of liquefied propane for fog dispersal at the Med-ford-Jackson airport, Oregon // J. Appl. Meteorol. 1968. Vol. 7. No. 12. pp. 1039-1040.
10. Plank V.G., Spatola A.A., Hicks J.R. Fog modification by use of helicopters. – AFCRL-70- 0593, Air Force Cambridge Res. Labs., Hanscom AFB, MA. 1970. 154 p.
11. Pu J., Yu B., Jiang A., Li Z., Zhou Sh., Wei Y., Wang W. Experimentation study on fog dissipation by jet engine devices // 8th WMO Sei. Conf. on Weath. Modif. Casablanca. Marocco. 2003. PP.393-396.
12. Шаповалов В.А. Информационная технология трехмерного представления данных измерений и численного моделирования // Инженерный вестник Дона. 2018. №2. URL: ivdon.ru/en/magazine/archive/N2y2018/4994.
13. Енохович А.С. Справочник по физике и технике. М.: Просвещение, 1983. 258 с.

References

1. Kalov Kh.M., Kalov R.Kh. Russian Meteorology and Hydrology. 2018. Т. 43. № 4. P. 218-226.
 2. Bankova N.YU., Krasnovskaya L.I., Sergeyev B.N, Chernikov A.A. Meteorologiya i gidrologiya. 2003. № 8. pp. 48-59.
 3. Zakharova I.M. Meteorologiya i gidrologiya. 1980. №5. pp. 108-115.
 4. Zakharova I.M., Novikova L.D. Meteorologiya i gidrologiya. 1987. №3. pp. 24-32.
 5. Kalov Kh.M., Kalov R.Kh. Fizicheskiye osnovy, metody i sredstva aktivnykh vozdeystviy na grozogradovyye oblaka i tumany [Physical bases, methods and means of active influences on thunderstorm-hail clouds and fogs]. Nal'chik: OOO «Poligrafservis i T», 2010. 220 p.
 6. Kachurin L.G. Fizicheskiye osnovy vozdeystviya na atmosferynye protsessy [Physical bases of influence on atmospheric processes]. L.: Gidrometeoizdat, 1990. 463 p.
 7. Berlyand M.Ye., Vorontsov P.A., Krasikov P.N. i dr. Tumany [Fogs]. (Pod red. Nikandrova V.Ya.. Glav. upr. gidrometeorolog. sluzhby pri Sovete Ministrov SSSR. Glav. geofiz. observatoriya im. A.I. Voyeykova). L.: Gidrometeoizdat, 1961. 388 p.
 8. Vasil'yeva K.I. Meteorologiya i gidrologiya. 1992. №11. pp. 79-86.
 9. Gerdel R.W. J. Appl. Meteorol. 1968. Vol. 7. № 12. pp. 1039-1040.
-



10. Plank V.G., Spatola A.A., Hicks J.R. Fog modification by use of helicopters. AFCRL-70-0593, Air Force Cambridge Res. Labs., Hanscom AFB, MA. 1970. 154 p.
11. Pu J., Yu B., Jiang A., Li Z., Zhou Sh., Wei Y., Wang W. 8th WMO Sei. Conf. on Weath. Modif. Casablanca. Marocco. 2003. PP.393-396.
12. Shapovalov V.A. Inzenernyj vestnik Dona, 2018. №2. URL: ivdon.ru/en/magazine/archive/N2y2018/4994.
13. Enokhovich A.S. Spravochnik po fizike i tekhnike [Handbook of physics and engineering]. M.: Prosveshcheniye, 1983. 258 p.