

чета можно использовать теоретическую зависимость (2), но при выборе характерных размеров, как указано выше. Увеличение начальной толщины пограничного слоя приводит к уменьшению эффективности охлаждения. Эффект охлаждения при вдуве через пористый образец круговой формы концентрируется в пределах полосы за местом вдува.

Поступила 15 VII 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутагеладзе С. С., Леонтьев А. И. Теплообмен и трение в турбулентном пограничном слое. М., «Энергия», 1972.
2. Goldstein R. J., Eckert E. R. G., Burggraf F. Effects of hole geometry and density on three-dimensional film cooling. Internat. J. Heat and Mass Transfer, 1974, vol. 17, No. 5.
3. Голдстейн, Экерт, Рамсей. Пленочное охлаждение с вдувом через отверстия: случай адиабатической температуры стенки вниз по течению от круглого отверстия. Тр. Америк. об-ва инж.-механ. Энергетические машины и установки, 1968, т. 90, № 4.
4. Лис. Экспериментальное исследование пленочного охлаждения при вдуве через ряд отверстий. Тр. Америк. об-ва инж.-механ. Энергетические машины и установки, 1975, № 1.
5. Эриксен, Гольдстейн. Теплообмен и пленочное охлаждение при вдуве через наклонные трубки круглого сечения. Тр. Америк. об-ва инж.-механ. Теплопередача, 1974, т. 96, № 2.
6. Рождественский В. И., Барышев Ю. В., Виноградов Ю. А. Экспериментальное исследование теплообмена на проницаемой поверхности и эффективности газовой завесы в сверхзвуковом потоке. Ин-т механ. МГУ, Отчет, 1974, № 1324.
7. Барышев Ю. В., Виноградов Ю. А., Леонтьев А. И., Рождественский В. И. Коэффициенты восстановления на проницаемой поверхности и в области газовой завесы в сверхзвуковом турбулентном пограничном слое. Изв. АН СССР, МЖГ, 1972, № 2.

УДК 532.529

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ НА ДВИЖЕНИЕ ОБЛАКА, ВСПЛЫВАЮЩЕГО ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛЫ ПЛАВУЧЕСТИ

В. А. ГОРЕВ, П. А. ГУСЕВ, Я. К. ТРОШИН

(Москва)

В заметке приводятся результаты экспериментального исследования зависимости угла расширения α всплывающего облака от условий его образования. Когда облако стартует из состояния покоя, $\alpha \approx 0.18$. Большее расширение соответствует наличию возмущений на поверхности облака. В том случае, когда облако имеет начальную скорость, угол расширения уменьшается с ростом начального модифицированного числа Фруда. Начиная с $Fr_0 = 1.5$, в начальный момент с поверхности облака происходит срыв исходного вещества. Экспериментально исследовался также механизм захвата облаком окружающей среды.

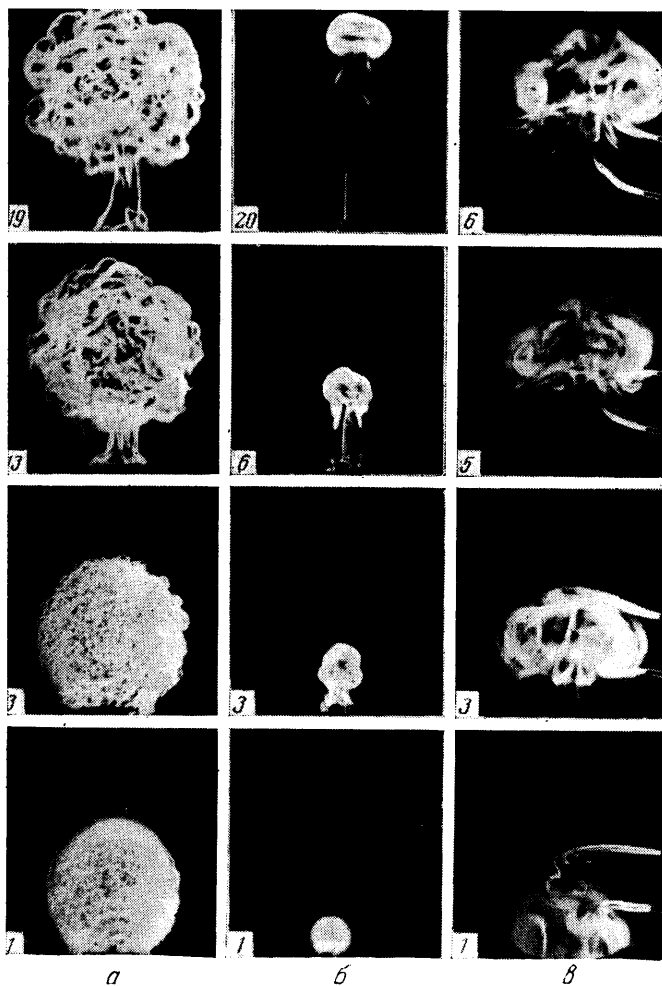
Движение изолированного объема жидкости плотности ρ под действием силы Архимеда в окружающей среде плотности ρ_0 исследовалось рядом авторов [1-4]. В [1] было установлено, что радиус облака линейно зависит от пройденного пути

$$(1) \quad R = R_0 + \alpha Z$$

Здесь Z — пройденный облаком путь, R_0 — начальный радиус, R — текущий радиус. При этом оказалось, что $\alpha \approx 0.25$. Выводы работы [1] были подтверждены другими авторами [2, 3], которые использовали ту же методику. В экспериментах [1-3] на поверхности воды, заполняющей стеклянный резервуар, находилась полусферическая чашка, которая заполнялась подкрашенным раствором соли и быстро переворачивалась. Плотность раствора соли была на 20% больше плотности воды. Подкрашенный объем двигался вниз и разбавлялся окружающей водой, процесс движения регистрировался кинокамерой.

В [4] была получена зависимость скорости и пути облака от времени в предположении (1). Было обнаружено, что движение сильно зависит от величины α , которая характеризует скорость захвата облаком окружающей среды, и что значение α может изменяться в широких пределах.

В данной работе делается попытка установить зависимость константы входа α от условий образования облака и выяснить механизм вовлечения окружающей среды в облако. Для этих целей проводились опыты с облаками легких газов, которые под



действием подъемной гидростатической силы всплывали в атмосфере воздуха. Облако легкого газа в атмосфере воздуха получалось следующим образом: сначала из исследуемого газа (водород, метан) выдувался мыльный пузырь радиуса R_0 ; этот радиус считался начальным радиусом облака. Затем от прикосновения тонкой иглы мыльная пленка быстро разрушалась и в атмосфере воздуха появлялся изолированный объем легкого газа. Пленка разрушалась под действием силы поверхностного натяжения, разлетаясь на мельчайшие капли. Газ, содержащийся внутри пузыря, продолжал занимать сферический объем и после разрушения пленки. Поверхность газового облака возмущается при разрушении пленки. Размер возмущений мал по сравнению с радиусом облака (фигура, а, метан, начальный радиус 6 см).

Такой способ получения изолированного облака отвечал требованиям мгновенности создания облака и позволял с хорошей точностью определять начальный объем облака. Визуализация процесса подъема и перемешивания облака легкого газа в воздухе осуществлялась при помощи теневой установки ИАБ-451. Чувствительность этой установки достаточно высока, чтобы надежно визуализировать облако, если даже оно разбавилось так, что объем увеличивался больше чем в 20 раз по сравнению с начальным объемом исходного газа.

Исследовался как подъем облаков, которые стартуют из состояния покоя, так и движение облаков, которые имеют скорость в начальный момент времени.

Если нужно было получить облако с начальной скоростью движения, то выдувался мыльный пузырь радиусом 2÷3 см. Легким прикосновением тонкой иглы к верхней точке пузыря вызывалось разрушение мыльной пленки. Игла предварительно смачивалась спиртом для уменьшения поверхностного натяжения в месте соприкосновения ее с пленкой и подводилась изнутри пузыря, чтобы не вносить возмущений при дальнейшем движении облака. На фигуре, б, соответствующей облаку

водорода с начальным радиусом 1.5 см, в нижней части кадров эта игла видна. При этом пленка двигалась вниз, а заключенный в ней газ приобретал импульс, направленный вверх.

Для получения больших скоростей использовались маленькие пузыри и к мыльному раствору добавлялся глицерин, который увеличивал толщину и реакцию пленки.

Чтобы получить облако, стартующее из состояния покоя, применялись пузыри больших размеров $R_0=5$ см; пузыри имели синий цвет с темными пятнами, что свидетельствовало о том, что пленка имела толщину нескольких молекул. Глицерин в этом случае к мыльному раствору не добавлялся. Для таких пузырей место разрыва уже мало влияло на движение облака легкого газа. Игла подводилась к пузырю снаружи к нижней точке. При разрыве пленки снизу облако поднималось из состояния покоя.

Процесс движения регистрировался покадровой киносъемкой с частотой съемки 60 к/с.

В случае, когда облако стартует из состояния покоя, возмущения, появившиеся в момент образования облака, растут и при этом поверхность облака остается возмущенной в течение всего времени движения (фигура, а, числа на фигуре указывают номера кадров). Экспериментально было показано, что большим начальным возмущением соответствует и большая скорость разбавления. Так, пленка в несколько молекулярных слоев давала минимальные возмущения и величина $\alpha=0.18$ была минимальной. Пленки большей толщины при разрушении сильнее возмущали поверхность облака. При этом величина α возрастала до значения 0.3.

Если облако стартвало с начальной скоростью, то возмущения, образовавшиеся в начальный момент, сносились в тыльную часть облака, входили там внутрь облака и в дальнейшем не появлялись. Такой режим подъема облака реализовался до тех пор, пока начальная скорость не превышала значения, которое соответствует модифицированному числу Фруда $Fr_0=1.5$

$$(2) \quad Fr_0 = u_0 \left[g \frac{\rho_0 - \rho_1}{\rho_0} R_0 \right]^{-1/2}$$

Здесь u_0 — начальная скорость облака, ρ_0 и ρ_1 — плотность окружающей жидкости и исходного вещества облака, R_0 — начальный радиус облака.

При дальнейшем увеличении начальной скорости с поверхности облака происходит интенсивный срыв вещества (водорода, метана), который по мере движения ослабевает, а затем прекращается вовсе (фигура, б). С ростом начального числа Фруда значение величины α уменьшается, то есть уменьшается расширение облака и захват им окружающего воздуха. Так, в опытах при $Fr_0=1.5$ константа входа α принимала значение $\alpha \approx 0.15$, а при $Fr_0=4$ $\alpha=0.08$.

Начальное число Фруда изменялось как за счет начальной скорости, так и за счет изменения плотности исходного вещества облака. Отметим один интересный результат таких опытов. Для двух мыльных пузырей одинакового размера, наполненных водородом и метаном, удалось подобрать толщины пленок, при разрыве которых облака приобретали равную начальную скорость, а при дальнейшем движении водородное облако поднималось даже медленнее, но зато расширялось из-за захвата окружающего воздуха сильнее, а импульс, связанный с его движением, все равно был больше, чем у облака, полученного из метана.

Для выяснения механизма захвата облаком окружающего воздуха ставился следующий опыт. Впереди поднимающегося водородного облака выпускались струйки пропана. Пропан тяжелее воздуха и поэтому опускался вниз навстречу облаку (фигура, в). После того как пропан встретится с вершиной облака, он движется вдоль его границы к тыльной стороне и входит внутрь облака. Из фигуры, в видно, что внутрь облака проникает не только пропан, который какое-то время находился на его границе, но подсасывается и часть пропана, выпущенного после прохождения облака вслед ему.

Поступила 15 X 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. Scorer R. S. Experiments on convection of isolated masses of buoyant fluid. J. Fluid Mech., 1957, vol. 2, pt 6.
2. Woodward B. The motion in and around isolated thermals. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 1959, vol. 85, No. 364.
3. Levine J. Spherical vortex theory of bubble-like motion in cumulus clouds. J. Meteorology, 1959, vol. 16, No. 6.
4. Горев В. А., Гусев П. А., Трошин Я. К. Моделирование подъема и сгорания облака легкого газа в атмосфере. Докл. АН СССР, 1972, т. 205, № 4.