



ВИХРЕВОЕ ТЕЧЕНИЕ ОТ АЭРОДРОМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ВХОД В ТРД - МОДЕЛЬ ТОРНАДО И СМЕРЧА

Сергей Юрьевич Крашенинников, начальник отделения, д.т.н.

Дмитрий Евгеньевич Пудовиков заместитель начальника отделения, к.ф.-м. н.
ФГУП "ГНЦ ЦИАМ им. П.И. Баранова"

Анализируется вихревое течение, возникающее при работе воздушно - реактивного двигателя вблизи аэродромной поверхности, сопровождающееся забрасыванием на вход в двигатель крупных частиц. Проведено вычислительное моделирование рассматриваемого газодинамического процесса на основе численных расчётов течения и траекторий частиц. Определены основные свойства рассматриваемого явления. На основании полученных данных предлагаются уточняющие пояснения для природных явлений типа торнадо и смерчей. Vortical flow field initiated by turbo jet operated close by the aerodrome (take of road) surface and accompanied by throwing and capturing of large particles. Numerical study of considered gas dynamic process was conducted basing on calculations of flow field and particle trajectories. Main features of these phenomena are analyzed. More precise explanation of nature phenomenon such as tornadoes waterspouts is suggested basing on these numerical data.

Ключевые слова: вихревое течение, математическое моделирование, попадание посторонних предметов, транспортирование частиц и предметов, торнадо.

Keywords: vortex flow, mathematical modeling, entry of foreign objects, particle and objects transport, tornado.

В связи с большой актуальностью проблемы попадания на вход в двигатель посторонних предметов, большое количество исследований посвящено анализу и изучению вихревого течения, возникающего при работе воздушно - реактивного двигателя (ВРД) вблизи поверхности. Однако ограниченность возможностей математического моделирования и трудности проведения измерений при проведении экспериментов [1-3], с описанием отдельных особенностей вихревого течения и подъёма крупных частиц, требуют дополнительных объяснений наблюдаемых эффектов. К ним относятся:

1. Как возникает восходящий вихревой поток, какова и как может быть определена интенсивность вихревого движения (закрутки в восходящем потоке).

2. Почему закрутка восходящего потока способствует вовлечению в него крупных, тяжелых частиц, которые просто не могли бы быть подняты восходящим потоком.

Здесь проявляется полная аналогия процесса попадания частиц с аэродромной поверхности на вход в двигатель и природных явлений типа торнадо и смерчей, для которых эти же вопросы остаются открытыми.

Совокупность данных исследований на основе вычислительного моделирования, полученных в работах [4,5,6], позволяет в определённой мере ответить на эти вопросы.

Вихревое течение в индуцированном восходящем потоке

Исходя из аналогии с работой двигателя вблизи аэродромной поверхности, в работах [4-6] рассмотрено течение, возникающее при засасывании воздуха через цилиндрическую трубу, располо-

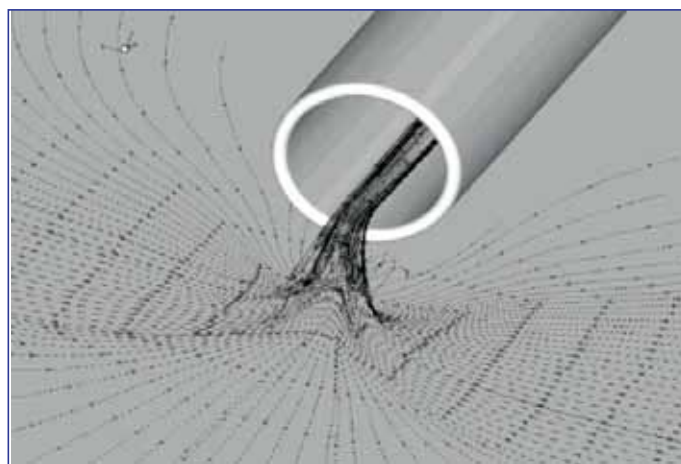


Рис. 1 Линии тока в приповерхностном слое и в отсасываемом потоке

женную на некотором удалении от плоской поверхности, как показано на схеме рис 1.

Метод расчёта основан на интегрировании уравнений Рейнольдса, замкнутых моделью турбулентности, аналогичный использованному в работе [7]. Он позволяет рассчитывать пространственное турбулентное течение вязкого газа в процессе установления по времени.

При расчётах варьировались расположение трубы относительно плоскости - высота и угол наклона; а также расход засасываемого воздуха. Это позволило получить обобщенные данные о характеристиках восходящего потока. На рис. 2 показана схема, использованная при расчётах параметров течения на различных

Дмитрий Евгеньевич Пудовиков 1969 - 09.09.2016 г.

Кандидат физ - мат наук. Работал в ЦИАМ с 1992 года. С 2003 года - заместитель начальника отделения газовой динамики и теплофизики. Его знали, как руководителя и организатора работ, совместных с ОКБ и другими организациями, творческого и вдумчивого исследователя в области прикладной газовой динамики. Публикуемая статья является примером его творческого вклада в исследовательскую работу отделения ЦИАМ, в котором он работал.



Рис. 2 Схема течения, использованная при расчетах

расстояниях от поверхности.

Основной характеристикой течения является интенсивность вращательного движения.

$$\Gamma = \frac{\oint (u dy + v dx)}{u_0 R_0} = \frac{\omega}{u_0 R_0}$$

Здесь u - продольная скорость, v - поперечная, x - продольная координата, y - поперечная, u_0 и R_0 скорость на входе и радиус входа отсасывающей трубы.

Интеграл берётся в плоскости, параллельной поверхности, по окружности с центром вблизи центра вихря при фиксированном значении вертикальной координаты z .

Размер окружности выбирается из условия сходимости интеграла к конечному значению.

Сопоставление данных для различных исходных положений трубы отсоса показывает, что основными параметрами, влияющим на интенсивность вихря являются расход на входе в отсасывающую трубу и высота расположения центра сечения входа над поверхностью H . По результатам анализа структуры течения, полученных при расчетах,

$$\Gamma = \frac{0.4}{h}, h = \frac{H}{R_0} \quad (1)$$

и соответственно интенсивность вращательного движения

$$\omega = \Gamma \cdot u_0 R_0 \approx \frac{0.4 \cdot u_0 R_0^2}{H} \quad (2)$$

Закономерность (1) выполняется более точно с увеличением h . Отклонения от этой зависимости при изменении угла наклона отсасывающей трубы также уменьшаются с ростом h . Это свидетельствует о том, что момент вращения вихря создается в вязком течении вблизи поверхности.

Важным результатом вычислительного моделирования является наблюдение возникновения вихревого течения.

В соответствии с полученными данными, характеристики течения в вихре (если он возник) являются приблизительно универсальными и соответствуют соотношениям (1 - 2).

По результатам расчётов были определены структуры течения при различных стадиях образования вихря. В физическом времени образование вихря происходит практически мгновенно. Но по результатам расчетов можно проследить последовательность и условия его образования.

Вихрь возникает, если в исходной геометрии течения нет симметрии. Например, если отсасывающая труба расположена вертикально, при расчёте получается симметричное вертикальное течение. Если трубу наклонить (в этом случае есть плоскость симметрии) вихрь также не наблюдается.

Решение задачи демонстрирует появление вихря, если при любом наклонном положении трубы имитируется боковой ветер. В этом случае при различной интенсивности бокового движения появляется восходящий вихрь, интенсивность которого с достаточной точностью соответствует соотношениям (1 - 2). В [4] так описывается динамика процесса.

Исходное течение без вихря имеет место при отсутствии бокового ветра (рис. 3а). Затем, при "включении" бокового ветра, внеш-

нее течение начинает обтекать восходящий поток с образованием двух вихрей противоположного вращения (рис. 3б). Из-за несимметрии этого обтекания вихри оказываются не равноправными, и постепенно один из вихрей, в данном случае, внешний по отношению к входному устройству, подавляет другой, и устанавливается течение с восходящим закрученным потоком (рис. 3в).

На рис. 3 представлены линии тока в различные моменты времени при возникновении вихря (само физическое время, которое как уже упоминалось чрезвычайно мало, при расчётах соответствовало долям секунды).

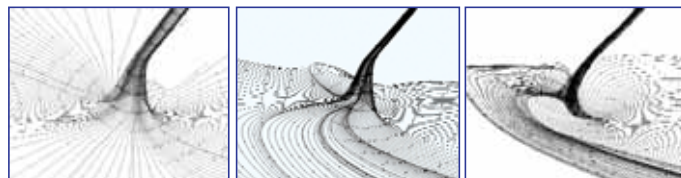


Рис. 3 Последовательность изменения положения линий тока при возникновении вертикального вихревого течения

Результаты вычислительного моделирования вихревого течения и его возникновения можно использовать для анализа этого явления как применительно к проблеме попадания для авиадвигателя, так и условий возникновения торнадо и смерчей.

Полученные результаты показывают, что строго симметричный вертикальный поток, поднимающейся от горизонтальной поверхности не устойчив. Потеря устойчивости сопровождается образованием вихря.

Вихрь формируется в приземном слое, т. е. в области, где существуют силы вязкости. Расчёты показали, что интенсивность вихревого движения оказывается пропорциональной кинетической энергии потока на входе в отсасывающее устройство.

При этом коэффициент пропорциональности (соотношения 1 - 2) слабо зависит от исходного нарушения симметрии течения.

В исследованиях природных торнадо и смерчей [8] также поднимается вопрос о природе энергетической составляющей процесса и возникновения момента вращения.

В работах [8 и др.] выдвигается гипотеза о воздействии кориолисовой силы на формировании течения. Этот вопрос обсуждался на семинаре академика Г.Г. Чёрного в институте механики МГУ ориентировочно в 2009 году с докладом автора работ (С.П.Баутина). Прозвучали ряд пояснений и замечаний: "По природе кориолисова сила обладает такими же свойствами, как сила тяготения, т. е. не может совершать работы. Но её наличие может сказываться на условиях нарушения симметрии, которое определяет направления закрутки в восходящем вихре. Т. е. возможно, что в торнадо и смерчах в разных полушариях земли будут наблюдаться различные преимущественные направления вращения."

Возможность реализации таких явлений как смерчи и торнадо, с точки зрения их энергетики, по мнению специалистов по атмосферным явлениям, не вызывает сомнений. В частности, при конденсации влаги в определенных слоях атмосферы возникают очень большие области пониженного давления, которые работают как мощный отсос".

Согласно данным [4-6], можно предположить, что формирование момента вращения в приземном слое происходит в сходящемся несимметричном вязком течении (см. рис. 3). Если возникающие сходящиеся течения имеют близкую конфигурацию, то, в соответствии с представленными результатами, энергия вращательного движения (или поток момента вращения) пропорциональна энергии вертикального потока, как это следует из соотношений (1 - 2).

Такое представление о свойствах вертикального вихревого движения соответствует предположению о том, что для рассматриваемого вертикального потока существует два режима течения: осесимметричный - неустойчивый и, практически универсальный, устойчивый вихревой режим.

Представленный анализ относится к "чистому" воздушному потоку без частиц. Приведенные визуализации показывают линии то-

ка восходящего потока воздуха, когда в потоке нет посторонних частиц, т.е. когда он не может быть видимым.

Наблюдатель может видеть только движение частиц определенного размера, которые "визуализируют" течение, а точнее его части, заполненные частицами. Наблюдение за ними может приводить к неточным представлениям о рассматриваемом явлении.

На рис.4 приведены фотографии "вихрей" на входе в двигатели и при наблюдении торнадо. Можно видеть их определенные различия. Для объяснения эффектов, связанных с наблюдением частиц, в работах [4-6] проведен соответствующий анализ.



Рис. 4 Фотографии вихревых восходящих потоков на входе в двигатели самолетов ИЛ-86 и американского транспортного - а и б, и торнадо в Америке [9]

Подъем частиц в восходящем вихревом потоке

Один из основных вопросов, которыми задаются исследователи, это: как возникает столь значительная подъемная сила в рассматриваемом вертикальном потоке? Имеющиеся очень скудные данные измерений [2,3] показывают, что в приповерхностной области уровень скоростей очень низок и совершенно не достаточен для наблюдаемого увлечения частиц.

Согласно данным расчетов [4-6], находящийся в пространстве сток, аналогичный представленному на рис. 1, индуцирует на расстоянии H скорость U , значение которой не велико и определяется соотношением

$$U = (0.5 + 0.25)u_0 \left(\frac{R_0}{H} \right)^2$$

Это значение скорости удобно использовать для анализа течения вблизи поверхности, удаленной от стока на расстояние H .

Численные расчеты течения показывают, что в задаче подъема частиц с поверхности зависимость вертикальной компоненты скорости от высоты можно описать соотношением

$$V_z = 0.2U \cdot z / R_0 \quad (3)$$

Т.е. вертикальная компонента скорости увеличивается с высотой, её предельное значение равно u_0 .

Скоростной напор потока среды в вертикальном направлении, достаточный для преодоления силы тяжести, действующей на частицу, определяется размером частицы. Для сферической частицы диаметром d , плотностью ρ его величина, при стоковом режиме обтекания определяется соотношением

$$d = \frac{3 \rho_s V_z^2}{4 \rho_p g} \quad (4)$$

где ρ_s - плотность среды, g - ускорение свободного падения.

Анализ экспериментов [1-3] с частицами небольшого размера показал, что в воздухозаборное устройство засасываются частицы по крайней мере в 3 - 4 раза более крупные, чем по соотношению (4), если принимать, что плотность среды равна плотности воздуха.

Опыт эксплуатации авиационных двигателей и наблюдения за природными явлениями показывают, что подниматься могут и значительно более крупные частицы.

Соотношение (3) показывает, что из-за увеличения вертикальной компоненты скорости с высотой, крупные частицы могут подниматься потоком, если первоначально они были подняты на некоторую высоту. Но для первоначального подъема необходимо удовлетворение соотношению (4) или другому аналогичному соотношению для крупных частиц.

Ответ на этот вопрос дан в работах [4-6]. Он исходит из того, что вблизи поверхности возникает среда, наполненная мелкими частицами с высокой концентрацией. При этом возникает среда, в которой взаимодействие потока с крупными частицами происходит при повышенном значении "суммарной" плотности среды ρ_s (средней в некотором объеме), которая может превышать плотность воз-

духа в десятки и сотни раз.

Прежде всего, мелкие частицы собираются течением с поверхности к основанию восходящего потока. Это обусловлено силой трения, возникающей вблизи поверхности из-за градиента скорости в ламинарном подслое.

Наблюдается процесс концентрации мелких частиц в области подъема вихревого потока от поверхности.

Наиболее мелкие частицы следуют за потоком в приземном слое и собираются в основании вихря.

На рис. 5 приведены результаты численных расчетов траекторий частиц в вихре для частиц различных размеров. Принималось, что частицы сферические, их плотность соответствовала плотности песка. Вихревой поток принимался таким, как было получено выше, при анализе течения на входе в двигатель.

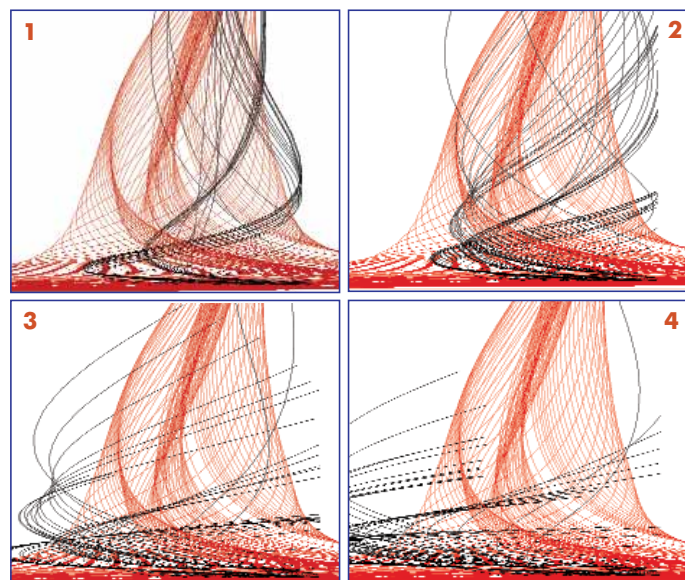


Рис. 5 Вихревое течение на при работе ТРД вблизи поверхности, численный расчет. Красные линии- линии тока, черные -траектории частиц: 1- 10мкм, 2- 25 мкм, 3- 50 мкм, 4- 75 мкм.

Оказывается, что в вихревом течении поток захватывает и поднимает только достаточно мелкие частицы 10...20 мкм, частицы более крупных размеров частично выбрасываются потоком, а при размере более 70...80 мкм выбрасываются почти полностью. Т.е. никакого вовлечения частиц в вихрь не происходит, градиенты давления в воздушном вихре недостаточны для "засасывания" частиц.

Представленные на рис. 4 фотографии вихря на входе в авиационный двигатель иллюстрирует описанный эффект при наличии влаги.

Но именно эффект разбрасывания частиц обуславливает возможность подъема крупных частиц на вход в двигатель и явлений типа торнадо и смерча.

На рис. 6 приведена схема движения частиц в вихре и его окрестности при установлении течения в потоке частиц. В начале, в тонком приземном слое, высоту которого обозначим как ξ , к основанию вихря подтягивается поток частиц G_{p0} .

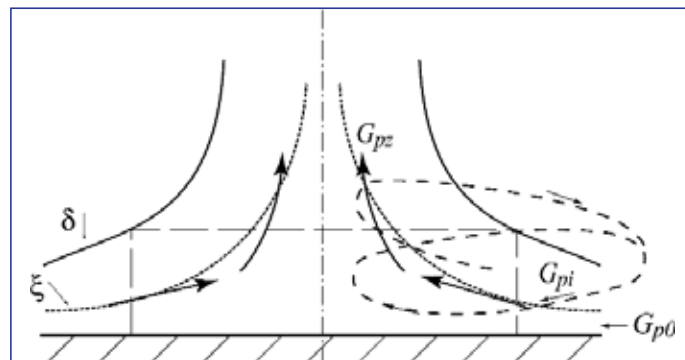


Рис. 6 Схема течения и движения частиц в приземном слое в основании вихря.

Частично они вовлекаются в восходящее течение, частично выбрасываются и попадают в поток, движущийся к вихрю. В результате к потоку G_{p0} добавляется поток выброшенных частиц G_{pi} , т. е. в вихрь втекает поток частиц $G_{pe} = G_{p0} + G_{pi}$.

Первоначально восходящий поток частиц меньше, чем G_{pi} , поскольку не все частицы могут быть подняты потоком. Поэтому в вихре происходит накопление частиц до тех пор, пока средняя плотность среды в области движения частиц не примет значение ρ_s , которое обеспечивает в соответствии с соотношением (4) подъем всех частиц, которые оказываются в основании вихря, т. е.

$$G_{pz} = G_{pe} = G_{p0} + G_{pi}$$

При этом плотность среды в восходящем потоке увеличивается от значения ρ_0 до значения ρ_s .

В работах [4-6] проведен анализ этого процесса, который рассматривается по аналогии с процессом в центробежном сепараторе.

Стационарный процесс соответствует условию равновесия

$$G_{pz} = G_{p0} = G_{pe} - K_g$$

где K_g коэффициент выброса (сепарации) частиц в вихревом потоке. (В центробежных сепараторах при скорости движения воздуха 5 - 7 м/с, для частиц размером 0.1 мм значение $K_g \approx 0.95$ [10]).

Можно показать, что при этом создается среда со средней плотностью

$$\rho_s = \rho_0 \left(1 + \frac{G_{pe}}{G_{p0}}\right)$$

где ρ_0 плотность среды с частицами в приземном слое ξ .

Из этого соотношения следует, что плотность среды при достижении равновесия

$$\rho_s = \rho_0 \left(1 + \frac{1}{1 - K_g}\right) \quad (5)$$

Т.е. в зависимости от значений ρ_0 и K_g , плотность среды, образующейся в вихре, может достигать значительных величин. Следует отметить, что процесс сепарации частиц происходит не только в приповерхностной области, но и на всем протяжении восходящего течения - частицы продолжают разбрасываться из-за закрутки потока. Это отчетливо видно на рис.4б, где визуализируется вихрь при наличии влаги - видна конусообразная область, занятая частицами. Этот же эффект имеет место в случае торнадо (рис.4в).

Для случая попадания на вход ТРД в условиях ровной сухой аэродромной поверхности, согласно данным [6], величина ρ_0 может превышать плотность воздуха только на 10...15 %. Т.е. значение плотности в потоке частиц, создающее подъемную силу, связано с процессом сепарации частиц (5). В [4-6] показано, что при прочих равных условиях интенсивность сепарации частиц пропорциональна интенсивности вихревого движения и выполняется соотношение:

$$\frac{1}{1 - K_g} \sim \Gamma$$

т.е., согласно (5), чем больше значение, тем более вероятен подъем крупных частиц и предметов.

Ранее, при анализе попадания в двигатель, было показано, что величина Γ , характеризующая интенсивность вихря, растёт с уменьшением h (2). Т.е. с уменьшением высоты расположения двигателя повышается вероятность засасывания частиц.

Однако следует отметить, что для авиационного двигателя, работающего вблизи аэродромной поверхности, соотношение (2) может не выполняться. Это происходит из-за эжектирующего воздействия реактивной струи, которое тем сильнее, чем меньше h .

Согласно данным [6], в случае ТРДД с общим выхлопом, некоторый минимум величины наблюдается при

$$h \approx 2$$

т.е. при удалении нижней кромки входа на расстояние равное радиусу воздухозаборника.

В этом случае значение получится таким же, как для $h \approx 3.5$ при отсутствии влияния реактивной струи.

Другим сильно влияющим параметром является параметр K_g , коэффициент выброса частиц из вихря. Этот коэффициент можно использовать для оценки сепарации полидисперсной среды. Одна-

ко в случае анализа попадания в авиационный двигатель с аэродромной поверхности, может оказаться, что состав частиц на аэродромной поверхности не позволяет, чтобы в восходящем вихре плотность была достаточно высокой. Это будет иметь место, если на поверхности аэродрома имеются только очень мелкие частицы, которые почти полностью увлекаются потоком, и он не может поднять отдельные крупные частицы.

В связи с этим оказывается целесообразным рассмотреть процесс увеличения плотности среды для различных конечных значений ρ_s , т.е. рассмотреть ход процесса образования высокоплотной среды при различных степенях увеличения первоначальной плотности, например, от двух до сорока.

Этот анализ проведен в работах [4, 6].

Поскольку дисперсный состав частиц, вовлекаемых с поверхности в основание вихря не определен, конечное значение плотности среды в основании вихря, которое обеспечивает подъем крупных частиц, так же не определено. В этом случае можно рассмотреть различные степени увеличения плотности среды в основании вихря, исходя из картины течения, представленной на рис.6.

В соответствии с анализом [4, 6] плотность среды быстро выходит на значение, близкое к постоянному, соответствующему значению ρ_s . Согласно [4-6] изменение по времени плотности в вихревом потоке описывается соотношением

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{1}{\exp(-\tau)(1-\alpha) + \alpha}, \text{ здесь } \alpha = \rho_0/\rho_s, \tau = t/U/l \quad (7)$$

где t - физическое время, l - характерный размер вихря, U - характерное значение индуцированной скорости вблизи поверхности.

На рис. 7 представлены результаты расчёта по (7) изменения плотности среды в вихре по времени для различных соотношений между исходным и конечным содержанием частиц в подтекающем к вихрю потоке ρ_0 и в среде, создающей подъемную силу ρ_s .

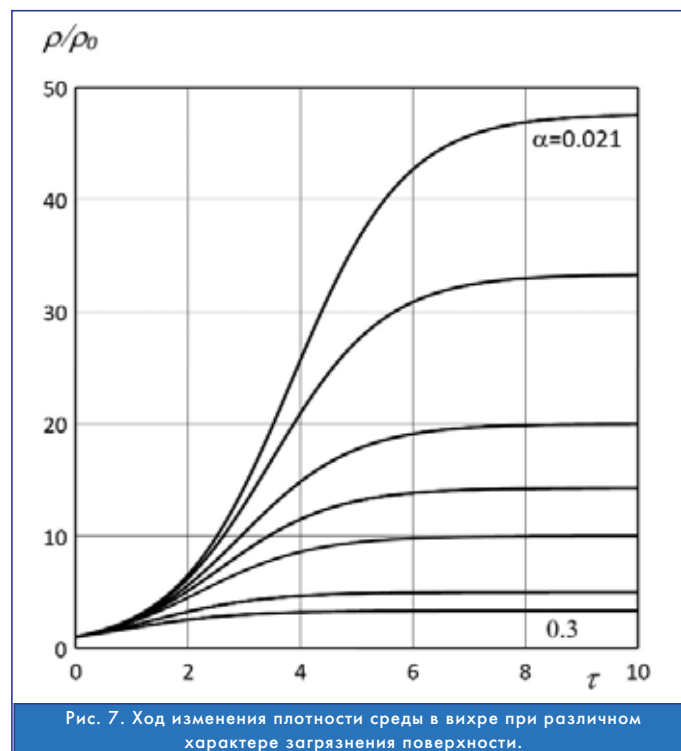


Рис. 7. Ход изменения плотности среды в вихре при различном характере загрязнения поверхности.

При изменении этого соотношения в 30 раз время выхода на стационарный режим изменяется не значительно. Характерное время накопления частиц в вихре

$$\tau_s \approx (5+10)\tau_s, \tau_s = l/U$$

где τ_s - время определяемое размером вихря l и характерной скоростью U движения среды в основании вихря.

При размерах порядка метров и скорости порядка нескольких метров в секунду, стационарный вихревой режим и плотность сре-

ды, создающей подъемную силу, устанавливается в течение нескольких секунд. Это приводит к обманчивому впечатлению, что при движении летательного аппарата, даже сравнительно медленном, вихрь исчезает.

Как было уже указано в предыдущем разделе, образующийся восходящий поток с вихрем мало чувствителен к внешнему потоку при умеренной скорости последнего. При движении летательного аппарата вихрь продолжает существовать, но при движении воздухозаборного устройства со скоростью $u > U$, что соответствует $\tau < \tau_c$, вихрь не будет виден со стороны, из-за того, что визуализирующие его частицы не успевают накапливаться.

Заключение

Результаты представленного анализа согласуются с результатами исследований засасывания частиц в воздухозаборник из приповерхностного слоя аэродромной поверхности.

Анализ опирается на два главных эффекта: разбрасывание частиц вращающимся потоком и их повторное возвращение в область, где формируется восходящий поток. При этом, несмотря на невысокий уровень скоростей, в этом потоке происходит подъем достаточно крупных частиц. Всё это находится в соответствии с данными [1-3]. Например, полученные соотношения хорошо согласуются с данными экспериментов ЦАГИ [1], если принять, что в этих экспериментах коэффициент выброса частиц $K_g \approx 0,97$. В этом случае плотность среды в приповерхностной части вихря превосходит плотность воздуха приблизительно в 30 раз.

Результаты проведенного анализа объясняют эффекты, связанные с такими явлениями, как торнадо и смерчи. В этих случаях уровень скорости движения среды вблизи земли также невелик (возможно около 5-10 м/сек). Но из-за высокой плотности среды скоростной напор сильно возрастает.

Существенным элементом в формировании условий для транспортирования вихрем крупных частиц является дисперсный состав частиц, принимающих участие в процессе, так как от него зависит коэффициент выброса частиц, значение которого радикально влияет на плотность поднимающегося потока (5).

Параметр K_g может изменяться в процессе накопления частиц. Первоначально, когда в процессе учувствуют только мелкие частицы, значение K_g составляет 0.7...0.8, что соответствует увеличению плотности среды в несколько раз. После этого в процессе начинают участвовать более крупные частицы, для которых коэффициент K_g ближе к единице, и плотность среды продолжает возрастать.

Такая эволюция связана со значительным увеличением времени установления процесса τ_c , но она способствует при наличии, например, песчаной почвы насыщению потока значительным количеством песка, с увеличением эффективной плотности на 2 - 3 порядка.

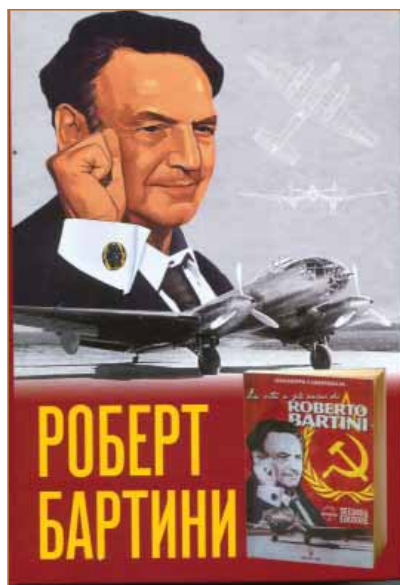
Если рассматривать образование вихря при наличии влаги, то процессу увеличения плотности среды будут сопутствовать влага и эрозия почвы, которые приведут к образованию восходящего грязевого потока.

В этом случае, при достаточном времени существования вихря, плотность среды в вихре может достигать чрезвычайно больших значений и восходящий поток становится близким по своим разрушительным свойствам к селевому потоку. По-видимому, это имеет место при образовании торнадо. 

Литература

1. Хохлов А.И. Исследование засасывания посторонних предметов самолетными силовыми установками // Труды ЦАГИ. - 1977. - № 1843. - 20 с.
2. Colehour J.L., Farquhar B.W. Inlet Vortex // J. Aircraft. - 1971. - Vol. 8, № 1. - P. 39-43.
3. Motycka D.L., Walter W.A. and Muller G.L. An analytical and experimental study of inlet ground vortices // AIAA/SAE 9th Propulsion Conference. Las Vegas, Nevada. November 5-7. 1973. - 7 p.
4. Крашенинников С.Ю., Пудовиков Д.Е. Попадание в двигатель посторонних частиц // Техника воздушного флота. изд. ЦАГИ. - 2005. - Т. LXXIX, № 3-4. - С. 66-72.
5. Krashennnikov S.Yu. Pudovikov D.E. Induced flow and large particles lift at air intake operation near ground surface // 2-nd European conference for aerospace sciences (EUCASS) - 2007-6 p.
6. Крашенинников С.Ю. Пудовиков Д.Е. Индуцированное течение и подъем крупных частиц при работе воздухозаборного устройства вблизи поверхности // Известия РАН. МЖГ - 2007- №4 - 14 с.
7. Браилко И.А., Крашенинников С.Ю. Исследование аэродинамических характеристик шевронных сопел на основе численного расчета течения // Изв. РАН, МЖГ. - 2005 - № 2. - 8 с.
8. Баутин С.П. Торнадо и сила Кориолиса - Новосибирск. Наука, 2008. - 92 с.
9. Наливкин Д.В. Смерчи - М.: Наука, 1984. - 112 с.
10. Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки - М.: Мир, 1987 - 588 с.

Связь с автором: krashenin@ciam.ru



24 сентября 2016 года в рамках 11-й Международной выставки "Гидроавиасалон" в Климатическом центре ВИАМ состоялась презентация книги "Роберт Бартини". Книга организована как состоящий из двух частей труд о выдающемся советском авиаконструкторе, итальянце по происхождению, Роберте Бартини.

Над составлением книги работали два автора. Первая часть - перевод на русский язык книги известного в Италии историка в области авиации, профессора Джузеппе Чампалья "Жизнь и самолеты Роберта Бартини" (Giuseppe Ciampaglia "La vita e gli aerei di Roberto Bartini", seconda edizione). Впервые в русскоязычной литературе подробно освещены ранее неизвестные аспекты биографии Бартини до его эмиграции в Советский Союз в 1923 году.

Вторая часть "Роберт Бартини - авиаконструктор завтрашнего дня" подготовлена сотрудником Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов Дмитрием Лаврищевым. На основе документов архива Научно-мемориального музея профессора Н.Е. Жуковского, Российского государственного архива экономики, Российского государственного военного архива, Государственного архива Российской Федерации автор раскрывает особенности летательных аппаратов, спроектированных Робертом Бартини, предпосылки их создания и влияние данных проектов на развитие советской авиации.

В книге представлены редкие исторические фотографии, схемы и чертежи летательных аппаратов Бартини. Фактический материал первой части сборника полностью соответствует итальянскому изданию.

Авторы следовали известному тексту из "завещания Бартини" воспроизведённому на обложке

По сайту ВИАМ:
<http://viam.ru/books/3598>

