

ДИНАМИКА, БАЛЛИСТИКА, УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

УДК 629.7.036.3

РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС ВИХРЕОБРАЗОВАНИЯ СРЕД ЗЕМЛИ

Даниленко Н.В.* , Киренчев А.Г.**

*Иркутский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации,
ул. Советская, 139, Иркутск, 664009, Россия*

** e-mail: danko_irk@mail.ru*

*** e-mail: antonkirenchev25@mail.ru*

Описан рабочий процесс вихреобразования сред Земли. Дано его определение. Указан продукт вихреобразования от вихревого поля до смерчей и вихрей воздухозаборников. Представлены характеристики вихревого поля Земли и их следствия. Выявлена роль силы Кориолиса в процессе вихреобразования естественных и техногенных вихрей. Представлены результаты экспериментального моделирования вихреобразования под воздухозаборником с учетом действия силы Кориолиса.

Ключевые слова: вихреобразование, вихри воздухозаборников, воздухозаборник реактивного двигателя, интерференционные вихри, вихри силы Кориолиса, вихревое поле Земли, вихревые характеристики.

С момента появления реактивной авиации возникла проблема вихревого засасывания посторонних предметов (ПП), льда, песка и пыли в проточную часть силовой установки с газотурбинным двигателем, работающим на земле на максимальных режимах. Засасывание ПП сопровождалось инерционным разрушением элементов проточной части воздухозаборника (ВЗ), входного направляющего аппарата и ступеней компрессора (лопаток рабочих колес и лопаток направляющих и спрямляющего аппаратов). Последствиями разрушений элементов проточной части компрессора являются вмятины, деформации, сколы, трещины и другие дефекты лопаток компрессора. При превышении нормативных значений на указанные дефекты (повреждения) ГТД досрочно снимался с эксплуатации и отправлялся на капитальный ремонт. Последствиями до-

срочного снятия двигателей (ДСД) с эксплуатации являлись убытки авиационных предприятий из-за потери ресурса, убытки из-за капитального ремонта, а также из-за срыва и невыполнения плановых полетных заданий. Проблема вихревого засасывания ПП и ДСД с эксплуатации решалась повышением качества ухода за рулежными дорожками и ВПП, а также за площадками для отработки двигателей. Но незначительное уменьшение ДСД указало на важность познания механизма вихревого засасывания ПП в двигатель и понимания физической сущности и рабочего процесса вихрей воздухозаборников.

До настоящего времени установлен рабочий процесс интерференционных вихрей воздухозаборников [1], а также разработаны программы их математического моделирования [1, 2].

Методика экспериментального исследования вихрей воздухозаборников двигателей воздушных судов (ВС) [3] использует базовые методы изучения отрывно-вихревых структур, а также их взаимодействия с различными элементами ВС, включая воздухозаборники. Данные методы исследования хорошо себя зарекомендовали и повсеместно используются для аэродинамических исследований элементов ВС [4, 5], но они не учитывают влияние на образование вихревых структур некоторых внешних факторов, например силы Кориолиса. Влияние силы Кориолиса на процесс образования вихрей в атмосфере Земли описано во многих источниках [6–9] и частично изучено авторами статьи [10, 11], а учитывая тот факт, что вихри под воздухозаборниками ЛА являются одной из разновидностей вихрей атмосферы Земли, силу Кориолиса следует учесть при их исследовании. Следовательно, рабочий процесс вихревого засасывания ПП будет описан более полно, когда, кроме учета интерференционного вихреобразования (ВО), будет установлен рабочий процесс образования вихрей воздухозаборников в поле кориолисовой силы и его ускорения. Но ни в одном из указанных источников рабочий процесс вихреобразования не описан в полной мере.

Опираясь на все изложенное выше, авторы статьи ставили себе цель установить рабочий процесс вихреобразования сред Земли, его вихревые характеристики и их следствия, далее применить полученные знания для исследования вихрей ВЗ и экспериментально показать влияние силы Кориолиса на процесс вихреобразования перед ВЗ летательных аппаратов.

Земля находится в поле годового и суточного циркуляционного (вихревого) движения. Ее средам присущи два состояния движения: потенциальное

или вихревое. Критерием оценки этих состояний служит угловая скорость ω вращения элементарных частиц подвижных сред [12, 13]. Вихревому движению (ВД) присущи циркуляция Γ тангенциальной скорости c_τ среды и угловое вращение ω элементарных частиц. Следовательно, кинематическим критерием ВД подвижной среды выбрано неравенство $\omega \neq 0$ [12, 13]. Наглядным геометрическим признаком ВД считается поворот диагонали элементарной частицы подвижной среды [там же].

Таким образом, в рамках критериев [12, 13] для сплошных сред при неразрывности их течения можно утверждать, что *вихреобразование* — процесс преобразования потенциального движения в движение вихревое.

Генераторы ВО сред Земли — поля ее суточного вращения, центробежной силы и притока солнечной радиации [1, 14, 15]. Именно в них ВО проявляет себя глобальными циркуляциями (рис. 1), горизонтальными вихрями крыльев атмосферных фронтов (АФ) с их фланговыми вихревыми кольцами, а также циклонами средних и тропических широт (рис. 1 и 2). Познание их рабочего процесса (РП) — сложная и пока не решенная научная задача. Следовательно, ее решение требует комплексного подхода при сочетании одновременного исследования не только естественного, но и техногенного ВО.

Вихреобразование — сложное газодинамическое явление. Его исследованию должно предшествовать установление определения ВО по сущности РП, выделение источников энергии и процесса его генерации.

Определение вихреобразования по сущности РП заложено в основных законах газовой динамики,

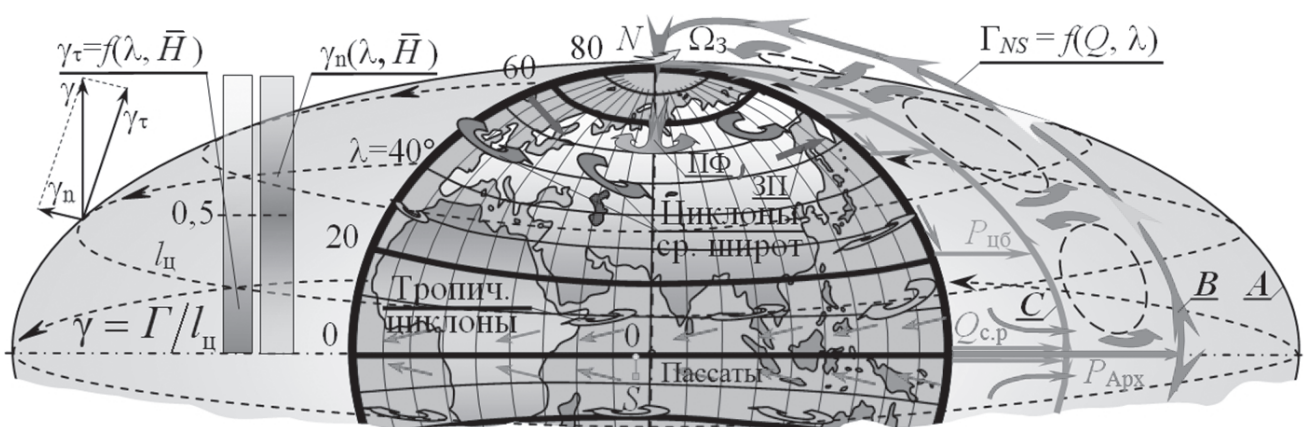


Рис. 1. Схема атмосферных вихревых полей: А — суточного вращения Земли; В — притока солнечной радиации; С — центробежной силы

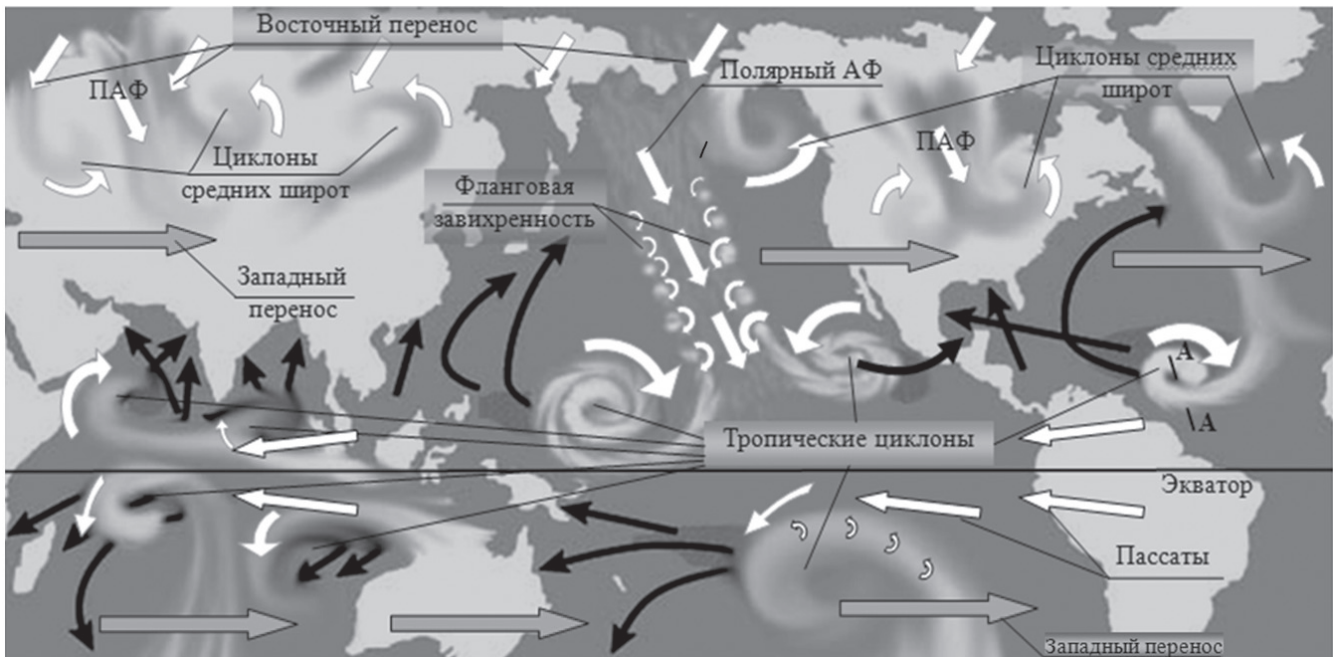


Рис. 2. Обобщенная вихревая структура атмосферы Земли [фотомонтаж автора]

термодинамики, а также в теоремах о движении газовых сред и их следствиях. Воспользуемся ими как рабочими математическими «инструментами».

Обратимся к уравнению сохранения энергии в удельных параметрах для исходного (1-1) и преобразованного (2-2) течения газовой среды. Для идеального газа при условии отсутствия перепада высот ($\Delta H = 0$) исследуемой струйки тока имеем

$$i_1 + \frac{c_1^2}{2} + J \frac{\omega_1^2}{2} \pm L_{\text{вн}} \pm Q_{\text{вн}} = i_2 + \frac{c_2^2}{2} + J \frac{\omega_2^2}{2}. \quad (1)$$

Здесь i и $\frac{c^2}{2}$ — энтальпия и кинетическая энергия

1 кг рабочего тела (РТ); $\pm L_{\text{вн}} \pm Q_{\text{вн}}$ — энергообмен РТ с внешней средой посредством механической

работы и теплоты соответственно; $J \frac{\omega^2}{2}$ — исследуемая кинетическая энергия вихревого движения.

Преобразуем уравнение (1) к функциональному виду:

$$J \frac{\Delta \omega^2}{2} = f \left(\Delta i, \frac{\Delta c^2}{2}, L_{\text{вн}}, Q_{\text{вн}} \right) \neq 0. \quad (2)$$

Как видим, процесс ВО $\left(\frac{\Delta \omega^2}{2} \right)$ — сложное га-

зодинамическое явление накопления энергии вихревого движения, определяемое воздействием на

исследуемый газовый поток избытка его внутренней Δi и кинетической $\Delta c^2/2$ энергии энергообмена РТ с внешней средой посредством механической работы $L_{\text{вн}}$ и теплоты $Q_{\text{вн}}$. В такой ситуации определение ВО по сущности РП может быть представлено в следующем виде: *вихреобразование* — процесс преобразования потенциального движения в вихревое при избытке внутренней и кинетической энергии потенциального потока, энергообмене с окружающей средой в виде механической работы и теплоты, а также сборе завихренности внешней среды.

Особенность газодинамического рабочего процесса ВО заключена в важном его отличии от РП тепловых машин. А именно, для последних по второму закону термодинамики львиная доля вносимой теплоты Q отводится в холодильник ($\Delta i = Q_{\text{хол}} \gg 0$), в то время как для «газодинамической» машины — смерча эта теплота также идет на разгон стокового потока $\Delta c^2/2$ и его раскрутку $\uparrow \omega$, т.е. на активацию запуска и интенсификацию циркуляции Г ВО.

Объектом исследования в данной статье выбраны естественные вихри и их аналоги — вихри воздухозаборников, как продукт техногенного вихреобразования. Выбор техногенных вихрей определен их доступностью для исследования, экономичностью и безопасностью моделирования. В поле теории подобия техногенные вихри представляют собой «мини-торнадо». Как и смерчи (рис. 3), они возникают в стоковых течениях перед воздухозабор-

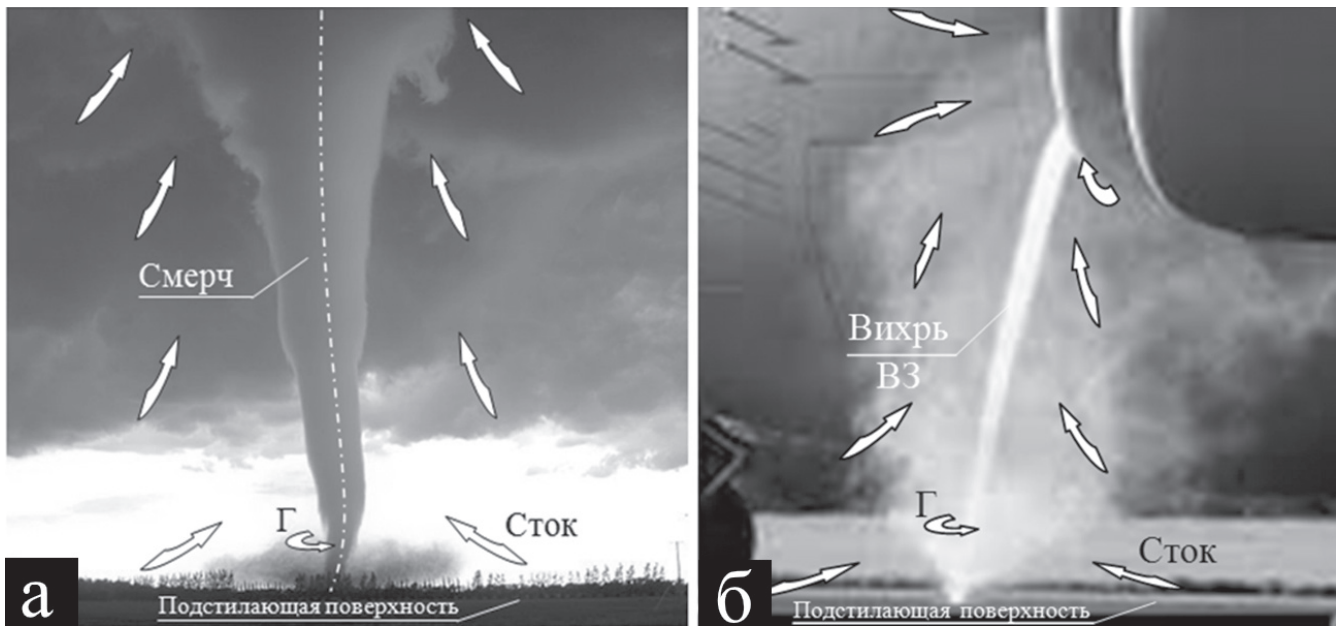


Рис. 3. Кинематическое сходство стоковых вихрей: *а* — торнадо стокового типа [16]; *б* — мини-аналог торнадо (стоковый вихрь ВЗ при работе ГТД на земле) [17]

никами и на срезе реактивного сопла при работе ГТД на земле.

Основа образования вихрей — вихревая пелена. Это тонкостенная граничная поверхность раздела смежных взаимодействующих сред, характеризующаяся градиентами тангенциальной скорости $\partial c_\tau / \partial l$ и вращением $\omega \neq 0$ [12, 13]. Примеры ее единства с вихрем представлены в виде вихревых спиралей на рис. 4. Как видим, дымовое и жидкое вихревое кольцо — тонкая вихревая пелена, накрученная на ось вращения. Большинство линейных вихрей (см. рис. 3) имеют в сечении подобную спиральную структуру. Они могут иметь и составную структуру из двух и более вихрей.

К настоящему времени физика и РП образования вихрей во всем их разнообразии не установле-

ны [1, 6, 14, 15]. Следовательно, нет определения сущности РП, что отмечено выше. Отсутствуют вихревые характеристики, представляющие собой зависимости интенсивности (циркуляции Γ) вихрей от режимных параметров. В этом главная проблема науки об их образовании.

Доказательством отсутствия объяснения РП естественных вихрей является определение смерча, изложенное в «Википедии» и других электронных источниках [6, 18]: «Смерч (торнадо) — атмосферный вихрь, возникающий в кучево-дождевом (грозовом) облаке и распространяющийся вниз, часто до самой поверхности земли, в виде облачного рукава или хобота диаметром в десятки и сотни метров».

Видим, здесь дается физическое описание смерча, но не его РП. В действительности смерч — сложное газодинамическое явление циркуляции

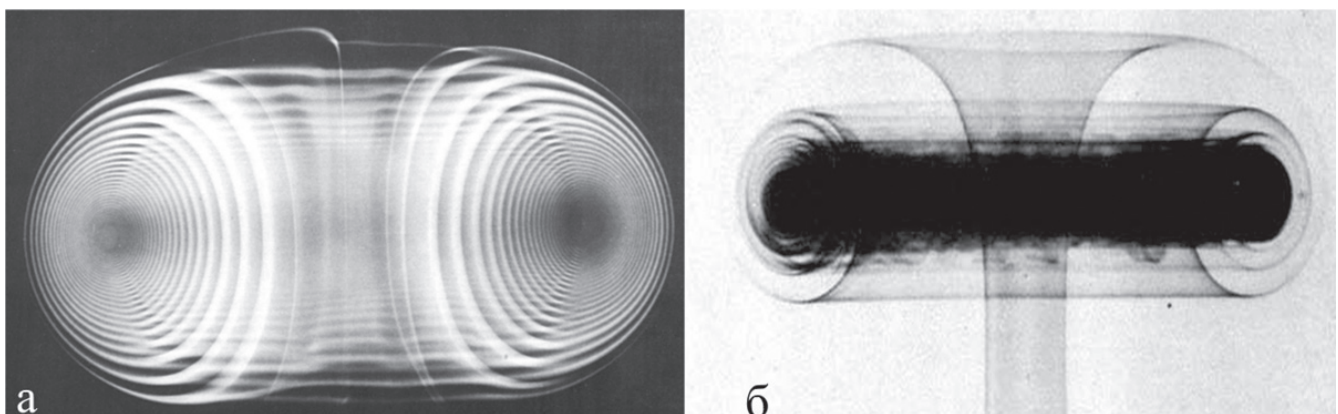


Рис. 4. Вихревая пелена в структуре вихревого кольца: *а* — дымовое вихревое кольцо в воздушной среде [19, рис. 77, с. 46]; *б* — вихревое кольцо в водной среде [19, рис. 112, с. 68]

скорости среды вокруг оси вращения, генерируемое множеством факторов влияния. Одним из них ученые США считают силу Кориолиса. Тогда определение смерча примет следующий вид:

«Смерч — продукт газодинамического преобразования энергии потенциального течения стоковой среды над подстилающей поверхностью (ПП) под грозовым облаком в восходящее вихревое ее течение, генерируемое скрытой теплотой парообразования и работой отклоняющей силы Кориолиса, а также эффектом аккумуляции внешней завихренности в поле стокового течения и других факторов».

Процесс смерча также определен разрывом циркуляции по длине вихря атмосферного фронта. В этом случае в сечении разрыва циркуляции возникают дифференциальные (разностно-циркуляционные) смерчи. Они являются следствием нарушения требования закона сохранения энергии о постоянстве циркуляции Γ в исследуемом сечении.

Застойные явления в познании сущности РП смерчей связаны с субъективными ограничениями научных исследований, а именно с заменой сложного физического явления ВО упрощенной его моделью, что имеет место в работе ученых США при исследовании торнадо. Препятствием в познании смерчей является инерция мышления и следование за лидером (взгляд на «запад»). Действительно, российские ученые, наблюдая за развитием науки о смерчах в США, осторожны в познании сущности смерчей и их техногенных аналогов, так как американские специалисты утверждают: «... *Истина в том, что мы не полностью понимаем торнадо*» [6]. Им вторит наш источник информации — «Википедия» [16]: «*Причины образования смерчей недостаточно изучены до сих пор*».

Решение проблемы ВО лежит не только в плоскости использовании закона сохранения энергии, как это было показано выше (1). Удивительным ресурсом познания ВО и его вихрей естественного и техногенного типа обладает обобщенное уравнение Бернулли:

$$L_{\text{вн}} = \int_1^2 v dp + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + L_r. \quad (3)$$

Здесь кинетическая энергия $J\omega^2/2$ вращения, входящая в работу L_r по преодолению гидравлического сопротивления, определена внешней механической работой $L_{\text{вн}}$, политропной работой сжатия (расширения) $\pm \int_1^2 v dp$ и приращением кинетической энергии $\Delta c^2/2$ с его граничными градиентами ско-

рости $\partial c/\partial l$, угловой закруткой $\omega \neq 0$ и циркуляцией среды, определяемой законом Био—Савара, теоремой Стокса и взаимосвязью $\omega = f(\partial c/\partial l)$:

$$\Gamma = \int_1^2 c_\tau dl = 2 \iint_S \omega dS,$$

где

$$\omega = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2},$$

$$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial c_z}{\partial y} - \frac{\partial c_y}{\partial z} \right), \quad \omega_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial c_x}{\partial z} - \frac{\partial c_z}{\partial x} \right),$$

$$\omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial c_y}{\partial x} - \frac{\partial c_x}{\partial y} \right).$$

Как видим, в поле стоковых течений четко прослеживается связь градиентов $\partial c/\partial l$ скорости c_{xyz} с вращением ω_{xyz} , эффектом накопления завихренности в поле локальной площади S и циркуляцией скорости Γ . При этом побуждающими к циркуляции являются факторы, отмеченные в следствиях уравнений (1) и (3).

Факт подтверждения силовой генерации образования вихрей от избыточного давления определен взаимосвязью линеаризованного уравнения Бернулли $p^* = p + \rho c^2/2 = \text{const}$ с уравнением неразрывности $G = \rho AF = \text{const}$. Действительно, в поле стокового течения положительные градиенты давления ($\partial p/\partial l > 0$) вокруг точки мнимого стока провоцируют градиентный срыв потока у подстилающей поверхности с формированием примыкающего к ней вихревого кольца. Разрыв циркуляции его вихревой трубки генерирует дифференциальные вертикальные вихри ВЗ.

Известно, что образование стоковых вихрей определено сбором завихренности внешней среды. Глобальным источником этой завихренности является вихревое поле (ВП) суточного вращения Земли (СВЗ). Оно охватывает все ее среды [1] посредством циркуляции скорости Γ (рис. 5):

$$\Gamma = \oint_l c_\tau dl = 2\pi\Omega_3 R_3^2 (1 \pm \bar{H})^2 \cos^2 \lambda = f(\lambda, \bar{H}), \quad (4)$$

где c_τ, l — тангенциальная скорость и контур циркуляции; Ω_3, R_3 — угловая скорость суточного вращения и радиус Земли; λ и \bar{H} — географическая широта и относительная высота.

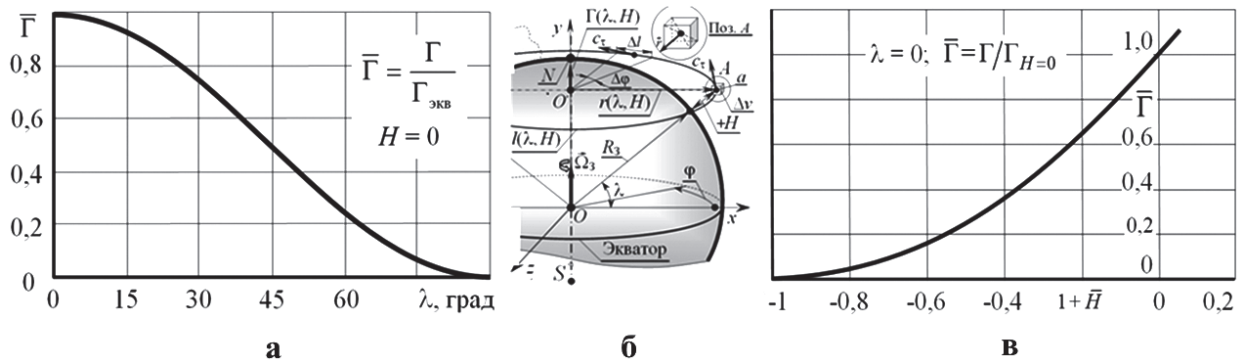


Рис. 5. Характеристики ВП СВЗ: а — широтная характеристика; б — кинематическая модель циркуляции сред Земли; в — высотная характеристика [1]

Закономерность (4) — доказательство существования ВП СВЗ. Оно описано законом Био—Савара и обладает энергией—работой $\oint c_t dl$ скорости c_t по круговому замкнутому контуру l . Вихревое поле СВЗ можно представить широтными и высотным характеристиками (рис. 5).

Поверхностный анализ вихревых характеристик (рис. 5) позволяет установить их следствия, полезные для расширения познания ВО, его характера, циркуляций и вихрей.

В поле широтных характеристик

$$\Gamma = 2\pi\Omega_3 R_3^2 (1 \pm \bar{H})^2 \cos^2 \lambda = f(\lambda) \text{ при } H = \text{const:}$$

1. Характер циркуляции $\bar{\Gamma}$ в поле широты λ от 0 до 90° подчинен закону тригонометрической функции $\cos^2 \lambda$, носит монотонный убывающий характер, что определено радиусом r и длиной контура циркуляции l .

2. Максимум циркуляции $\bar{\Gamma}$ приходится на экватор.

3. Вектор циркуляции лежит на полярной оси NS.

Как следствие пункта 2, избыточная внешняя завихренность наводит на малых высотах у подстилающей поверхности экваториальных и полярных

широт ветры пассаты и Восточный перенос соответственно.

В поле высотных характеристик

$$\Gamma = 2\pi\Omega_3 R_3^2 (1 \pm \bar{H})^2 \cos^2 \lambda = f(1 \pm \bar{H}) \text{ при } \lambda = \text{const:}$$

1. Зависимость циркуляции $\bar{\Gamma}$ от относительной высоты \bar{H} от -1,0 до 0 подчинена закону квадратичной параболы, имеет монотонный возрастающий характер.

2. Над поверхностью Земли в малом диапазоне относительной высоты характер изменения $\bar{\Gamma}$ близок к линейному.

3. Определяющим переносом средних и больших высот атмосферы Земли является Западный перенос, используемый для полетов ВС и аэростатических средств.

В поле внешней завихренности естественной среды, описанной выше, при работе ГТД на земле возникают техногенные вихри (рис. 6), подобные естественным смерчам. Источником энергии техногенных вихрей ВЗ стокового типа являются завихренность внешней среды, описанная выше, а также силовое воздействие на стоковый поток под ВЗ со стороны поверхностей воздушного судна и его газотурбинной силовой установки (ГТСУ). Ярким типовым примером техногенного ВО являются

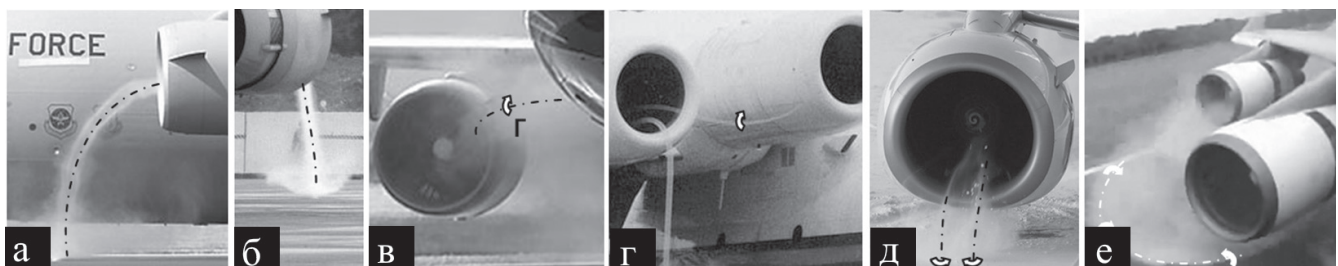


Рис. 6. Галерея вихрей ВЗ при работе ГТД: а, б, в — вертикальные вихри; в, г — горизонтальные вихри; д — парные вихри; е — параболические вихри [1, 17]

ся вихри кориолисовой силы. Их рабочий процесс пока не установлен. Главная трудность познания вихрей кориолисовой силы заключена в существовании парных вихрей ВЗ, имеющих как циклоническую, так и антициклоническую закрутку.

Решение проблемы кориолисовых вихрей стокового типа лежит в исследовании их РП вне вихрей другой природы (интерференционных вихрей и вихрей от вращения ротора ГТД). Установим возможность моделирования вихрей силы Кориолиса методами гидрогазоаналогии.

Экспериментальные исследования методами гидрогазоаналогии [5, 20], как видно из названия, могут проводиться в двух средах: жидкостной и воздушной, при соблюдении условия подобия этих сред. Сначала проведем моделирование вихрей ВЗ в жидкостной среде, используя установку «Гидробассейн» (рис. 7). В процессе эксперимента в «Гид-

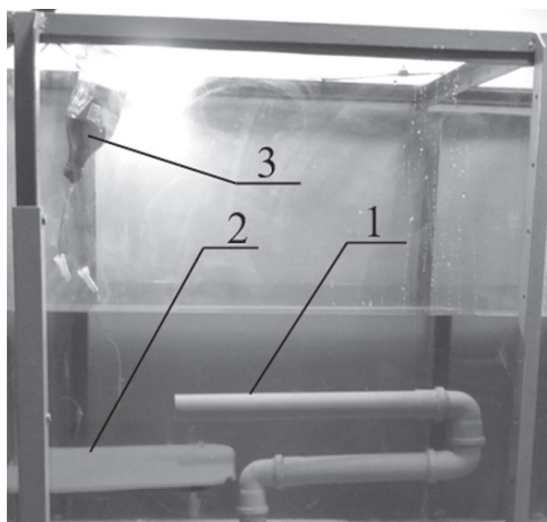


Рис. 7. Установка «Гидробассейн»: 1 — модель воздухозаборника; 2 — макет подстилающей поверхности; 3 — система визуализации (подачи подкрашивающей жидкости)

робассейн» помещалась система полипропиленовых труб 1, соединенная со стоком установки и имитирующая работу воздухозаборника. В качестве подстилающей поверхности использовалась пластмассовая пластина 2 размером в 50×30 см, что эквивалентно $10 \times 6 D_{ВЗ}$. Чтобы исключить срывное обтекание, края пластины имеют скругления достаточной кривизны. Линии стока потока жидкости под ВЗ визуализировались подкрашивающей жидкостью (тушью) 3, подводимой в двух точках, равноудаленных от оси линии мнимого стока. Результаты эксперимента представлены в виде линий тока и векторного поля скоростей на рис. 8.

Результаты экспериментального моделирования в водной среде качественно подтверждены аналогичным моделированием в газовой среде (рис. 9) на установке, созданной авторами для исследования «чисто» кориолисовых вихрей — вихрей без учета влияния внешней завихренности, ветрового потока и интерференции ВЗ с подстилающей поверхностью. Такой эксперимент стал возможным благодаря исключению внешних факторов влияния на стоковое ВО, а именно: поверхность ВЗ выполнена осесимметричной цилиндрической формы с целью исключения интерференционных вихрей ВЗ от силового воздействия его плоских боковых стенок. В поле стокового течения устранены внешние генераторы вихреобразования. Исключены сквозняки и другие воздушные потоки. Для визуализации в данном эксперименте использовались пары глицерина, подводимые в зону исследования через специальные отверстия на поверхности экрана.

Фотоматериалы, представленные на рис. 8, б и 9, а, позволяют сравнить характер распределения стокового течения, смоделированного авторами с учетом эффекта силы Кориолиса и циклона экваториальных широт (см. рис. 2). Как видим, харак-

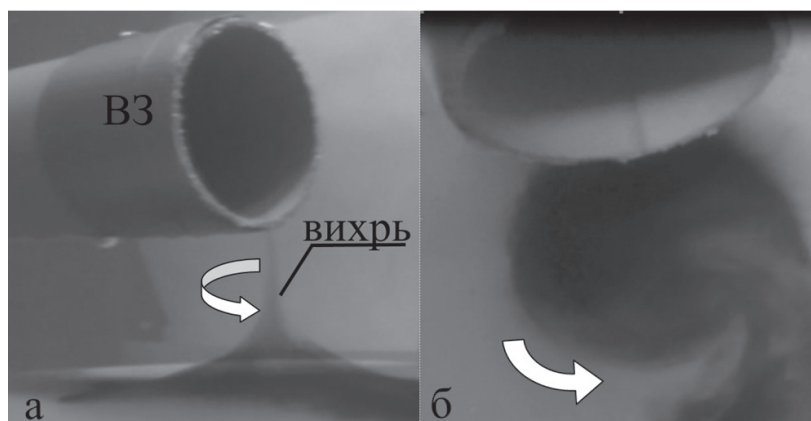


Рис. 8. Результаты экспериментального моделирования вихрей под воздухозаборником в водной среде: а — вихрь циклонического типа; б — циклоническая закрутка стокового потока на поверхности экрана под воздухозаборником

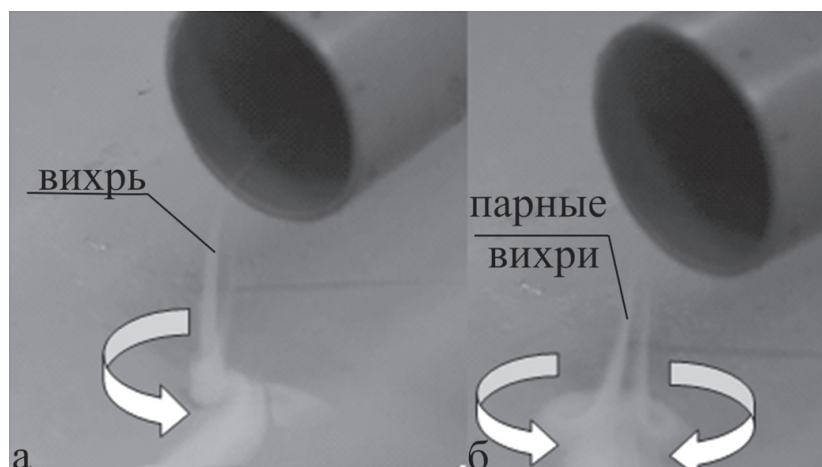


Рис. 9. Результаты эксперимента в газовой среде: а — вихрь кориолисовой силы; б — парные вихри

тер распределения качественно схож в обоих случаях, что свидетельствует о главенствующей роли эффекта силы Кориолиса в процессе вихреобразования техногенных и естественных вихрей.

Выводы

Результаты эксперимента стокового ВО под осесимметричной моделью ВЗ доказали, что вне поля побочных факторов вихреобразования кориолисовы вихри стокового типа существуют. Данный факт указывает на то, что роль силы Кориолиса в формировании вихрей под воздухозаборниками ГТСУ ВС является если не главенствующей, то одной из основополагающих.

Результаты экспериментального моделирования могут быть использованы для дальнейшего исследования естественных стоковых вихрей типа смерчей (торнадо), а также вихрей, возникающих под воздухозаборниками ГТСУ ВС.

Библиографический список

1. Даниленко Н.В., Кривель П.М., Пахомов С.В., Сафарбаков А.М., Федотов М.М. Теория вихрей перед воздухозаборниками самолетов при работе газотурбинных двигателей на аэродроме: Монография. — Изд. 2-е, дополненное. — Иркутск: ИрГТУ, 2011. — 348 с.
2. Пирогов С.Ю., Юрьев А.С., Тупаев В.В., Махров А.С. Численное моделирование течения на входе в сверхзвуковой воздухозаборник внешнего сжатия при энергоподводе в набегающий сверхзвуковой поток // Вестник Московского авиационного института. 2009. Т. 16. № 3. С. 154-159.
3. Пахомов С.В., Айсин А.К. Методика проведения экспериментальных исследований вихревых течений перед воздухозаборниками самолета при изменении направления и скорости ветра // Материалы XIV Научно-технической конференции ВВАИУ. — Иркутск: Иркутское высшее военное авиационное инженерное училище, 2005. Часть 1. С. 38-46.
4. Артамонова Л.Г., Радциг А.Н., Рыжов Ю.А., Семенчиков Н.В., Тархов Е.Л., Чернов Г.Ф., Яковлевский О.В. Исследования МАИ в области отрывных и струйных течений вблизи элементов ЛА и их полных компоновок // Вестник Московского авиационного института. 2005. Т. 12. № 2. С. 31-48.
5. Свирищевский С.Б., Артамонова Л.Г., Радциг А.Н., Семенчиков Н.В. Управление взаимодействием пространственных отрывно-вихревых структур с несущими элементами самолета // Вестник Московского авиационного института. 2002. Т. 9. № 1. С. 3-24.
6. The online tornado FAQ, <http://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/>
7. Баутин С.П. Торнадо и сила Кориолиса. — Новосибирск: Наука, 2008. — 96 с.
8. Баутин С.П., Крутова И.Ю., Обухов А.Г., Баутин К.В. Разрушительные атмосферные вихри: теоремы, расчеты, эксперименты. — Новосибирск: Наука, 2013. — 216 с.
9. Баутин С.П., Обухов А.Г. Математическое моделирование разрушительных атмосферных вихрей. — Новосибирск: Наука, 2012. — 152 с.
10. Даниленко Н.В. Прецессия изолированного циклонического вихря в поле вращения Земли // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2008. № 2(34). С. 20-23.
11. Даниленко Н.В., Федотов М.М. Вихревое движение потока перед воздухозаборниками газотурбинных двигателей при работе их на земле // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2006. № 3(27). С. 102-108.
12. Ништ М.И. Аэродинамика боевых летательных аппаратов и гидравлика их систем. — М.: ВВИА, 1994. — 570 с.
13. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. — М.: Наука, 1970. — 904 с.
14. Хромов С.П., Петросянци М.А. Метеорология и климатология: Учебник. — М.: Изд-во МГУ, 2001. — 527 с.
15. Наливкин В.Д. Смерчи. — М.: Наука, 1984. — Сер. Человек и окружающая среда. — 112 с.

16. Смерч, <https://ru.wikipedia.org/wiki/Смерч>
17. The Aviation Thread <https://forums.finalgear.com/forum/general-discussion/off-topic/39071-the-aviation-thread-contains-lots-of-awesome-pictures/page11> (15 мая 2018)
18. Авиационная метеорология, <http://www.igmt.ru/component/k2/item/74-aviatsionnaya-meteorologiya>
19. Ван-Дайк М. Альбом течений жидкости и газа / Пер. с англ. Л.В. Соколовской. — М.: Мир, 1986. — 184 с.
20. Пахомов С.В. Экспериментальная установка «Гидробассейн» и практические рекомендации по ее эксплуатации: Методическое пособие. — Иркутск: Иркут. высш. воен. авиац. инж. училище, 1993. — 48 с.

WORK PROCESS OF THE EARTH ENVIRONMENTS VORTEX FORMATION

Danilenko N.V.* , Kirenchev A.G.**

*Irkutsk Branch of Moscow State Technical University of Civil Aviation,
139, Sovetskaya str., Irkutsk, 664047, Russia*

* e-mail: danko_irk@mail.ru

** e-mail: antonkirenchev25@mail.ru

Abstract

The present-day science state-of-the-art allowed ensuring qualitative transfer to many branches of not only scientific but to technologic and other types of human activities. New knowledge aroused at the junction of the well-known scientific and technological trends. Though in certain trends of modern science development some so-called “blind-spots” still exist. The theory of vortex formation is an example of such modern science state-of-the-art. Currently the specialists of this scientific trend cannot establish the physical entity of atmospheric gas dynamic specifics of the vortices under the aircraft air intakes, well as the gist of their work process. The closer analogue of such vortices are the atmospheric whirlwinds, which working processes are associated with the Earth daily rotation. However, the capabilities of modern science do not allow establish the work process of the above said problem gas dynamic phenomena. The scientists in the USA and many other countries declare openly that the do not understand tornado - a small-sized vortex of a cyclonic type. In such circumstances, the scientists are compelled to give definitions to whirlwinds, tornadoes and cyclones by the facts of their physical manifestations in the field of visual perception. Such definitions do not contain the boundary conditions, work process elements, and limit their experimental modeling possibilities. The scientists face a great problem of exploring the work process of the Earth environments vortex forming. One of the main tasks of the Earth environments vortex forming research and its product is establishing the vortex characteristics, their corollary and application areas.

The article discloses the work process of the Earth environments vortex formation. It gives the definition of vortex formation, and specifies the product of vortex

formation, including vortex field, tornadoes and air intakes vortices. The work process of vortex formation was established. The article presents the Earth vortex filed characteristics and their corollary.

The Coriolis force role in the process of vortex formation of natural and man-made vortexes was revealed. The results of experimental modeling of vortex formation under the air intake with account for the Coriolis force action are presented.

Keywords: vortex formation, air intakes' vortices, jet engine air intake, interference vortices, vortices of Carioles force, the Earth vortex field, vortical characteristics.

References

1. Danilenko N.V., Krivel' P.M., Pakhomov S.V., Safarbakov A.M., Fedotov M.M. *Teoriya vikhrei pered vozdukhobornikami samoletov pri rabote gazoturbinnykh dvigatelei na aerodrome* (Vortices theory in front of aircraft air intake while gas turbine engine operation at the airfield), Irkutsk, IrGTU, 2011, 348 p.
2. Pirogov S.Yu., Yur'ev A.S., Tipaev V.V., Makhrov A.S. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2009, vol. 16, no. 3, pp. 154-159.
3. Pakhomov S.V., Aisin A.K. *Materialy XIV Nauchno-tekhnicheskoi konferentsii VVAIU*, Irkutsk, Irkutskoe vysshee voennoe aviatsionnoe inzhenernoe uchilishche, 2005. Part 1, pp. 38-46.
4. Artamonova L.G., Radtsig A.N., Ryzhov Yu.A., Semenchikov N.V., Tarkhov E.L., Chernov G.F., Yakovlevskii O.V. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2005, vol. 12, no. 2, pp. 31-48.
5. Svirshchevskii S.B., Artamonova L.G., Radtsig A.N., Semenchikov N.V. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2002, vol. 9, no. 1, pp. 3-24.
6. *The online tornado FAQ*, <http://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/>

7. Bautin S.P. *Tornado i sila Koriolisa* (Tornado and the Coriolis force), Novosibirsk, Nauka, 2008, 96 p.
8. Bautin S.P., Krutova I.Yu., Obukhov A.G., Bautin K.V. *Razrushitel'nye atmosferynye vikhri: teoremy, raschety, eksperimenty* (Destructive atmospheric vortices: theorems, calculations, experiments), Novosibirsk, Nauka, 2013, 216 p.
9. Bautin S.P., Obukhov A.G. *Matematicheskoe modelirovanie razrushitel'nykh atmosferynykh vikhrei* (Mathematical modeling of destructive atmospheric vortices), Novosibirsk, Nauka, 2012, 152 p.
10. Danilenko N.V. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2008, no. 2(34), pp. 20–23.
11. Danilenko N.V., Fedotov M.M. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2006, no. 3(27), pp. 102–108.
12. Nisht M.I. *Aerodinamika boevykh letatel'nykh apparatov i gidravlika ikh sistem* (Combat aircraft aerodynamics and its systems hydraulics), Moscow, VVIA, 1994, 570 p.
13. Loitsyanskii L.G. *Mekhanika zhidkosti i gaza* (Liquid and gas mechanics), Moscow, Nauka, 1970, 904 p.
14. Khromov S.P., Petrosyants M.A. *Meteorologiya i klimatologiya* (Meteorology and climatology), Moscow, MGU, 2001, 527 p.
15. Nalivkin V.D. *Smerchi* (Tornadoes), Moscow, Nauka, 1984, 112 p.
16. *Smerch*, <https://ru.wikipedia.org/wiki/Smerch>
17. *The Aviation Thread*, <https://forums.finalgear.com/forum/general-discussion/off-topic/39071-the-aviation-thread-contains-lots-of-awesome-pictures/page11>
18. *Aviatsionnaya meteorologiya*, <http://www.igmt.ru/component/k2/item/74-aviatsionnaya-meteorologiya>
19. Milton Van Dyke. *An album of fluid motion*. Parabolic Press, Stanford, California, 1982, 176 p.
20. Pakhomov S.V. *Eksperimental'naya ustanovka "Gidpobassein" i ppakticheskie pekomentatsii po ee ekspluatatsii* (The "Hydro basin" experimental setup and practical recommendations on its application), Irkutsk, Irkutskoe vysshee voennoe aviatsionnoe inzhenernoe uchilishche, 1993, 48 p.