

УДК 551.513

ББК 26.233

DOI 10.51955/2312-1327_2022_3_47

ТЕОРЕМА О ВИХРЕОБРАЗОВАНИИ ГАЗОВЫХ И ЖИДКИХ СРЕД

*Николай Владимирович Даниленко,
orcid.org/0000-0002-9599-7573,
кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический
университет гражданской авиации
(Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, д. 3
Иркутск, 664047, Россия
danko_irk@mail.ru*

*Антон Геннадьевич Киренчев,
orcid.org/0000-0002-6023-4496,
кандидат технических наук
Московский государственный технический
университет гражданской авиации
(Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, д. 3
Иркутск, 664047, Россия
antonkirenchev25@mail.ru*

Аннотация. Выбран объект исследования – вихреобразование газовых (жидких) сред. Определено состояние вопроса вихреобразования. Дано теоретическое обоснование проблемы вихреобразования. Установлена кинематическая сущность газодинамического явления вихреобразования. Выявлены его противоречия. Установлен рабочий процесс вихреобразования. Получены параметры эффективности и режимные параметры. Указано место вихреобразования в уравнении сохранения энергии движения газа. Установлена совокупность факторов генерации вихревой активности естественного и техногенного вихреобразования. Предложена теорема о вихреобразовании. Изложены её следствия и области практического применения.

Ключевые слова: вихреобразование газовых (жидких) сред, факторы генерации и активации вихреобразования, рабочий процесс вихреобразования газовых (жидких) сред, определения вихреобразования, теорема о вихреобразовании, классификация вихреобразования.

THE THEOREM OF GASEOUS AND LIQUID MEDIA VORTEX FORMATION

*Nikolay V. Danilenko,
orcid.org/0000-0002-9599-7573,
candidate of technical sciences
Moscow State Technical
University of Civil Aviation
(Irkutsk Branch),
ul. 3, Kommunarov St.
Irkutsk, 664047, Russia
danko_irk@mail.ru*

*Anton G. Kirenchev,
orcid.org/0000-0002-6023-4496,
candidate of technical sciences
Moscow State Technical
University of Civil Aviation
(Irkutsk Branch),
ul. 3, Kommunarov St.
Irkutsk, 664047, Russia
antonkirenchev25@mail.ru*

Abstract. The object of research is vortex formation of gas (liquid) media. The state of the vortex formation issue is determined. The theoretical substantiation of the vortex formation problem is given. The kinematic essence of the gas-dynamic phenomenon of vortex formation is established. Its contradictions are revealed. The working process of vortex formation is established. Efficiency parameters and operating parameters are obtained. The place of vortex formation in the equation of conservation of the energy of gas motion is indicated. A set of factors for the generation of vortex activity of natural and man-made vortex formation has been established. A theorem on vortex formation is proposed. Its consequences and areas of practical application are outlined.

Keywords: vortex formation of gas (liquid) media, factors of generation and activation of vortex formation, workflow of gas (liquid) media, definition of vortex formation, vortex formation theorem, classification of vortex formation.

Введение

Вихреобразование представляет собой неустановившийся переходный процесс формирования вихревой активности жидких и газовых сред Земли с выходом на его многоликий продукт, содержащий открытый доступ к его физическому восприятию и огромные трудности в его моделировании как численными, так и экспериментальными методами. Ныне не установлен рабочий процесс вихреобразования и его вихревого продукта от малоразмерных вихрей до атмосферных фронтов с их глобальными циклонами и циркуляциями.

Вихреобразование газовых сред

Объект исследования – вихреобразование (ВО) несжимаемых газовых (жидких) сред, включающее нестационарное поле конвективно-тепловой циркуляции, постоянно действующие поля центробежной силы и установившегося вращения Земли вокруг Полярной оси с их глобальными циркуляциями, переносами воздушных масс, атмосферными фронтами, генерирующими циклоны средних широт и тропические тайфуны, их ураганы, бури, смерчи, шквалы, вихри и мелкую вихревую активность, отвечающие условию ($\omega \neq 0$) частиц исследуемых сред, определяемого градиентами скорости потока газа.

Цель исследования вихреобразования:

– установление физической сущности и рабочего процесса (РП) вихреобразования газа во всём многообразии его проявления;

- математическое обоснование рабочего РП вихреобразования газа, его параметров эффективности и режимных параметров;
- представление определения ВО по сущности его РП;
- установление РП вихревого продукта ВО и его классификации;
- доказательство и формирование теоремы о вихреобразовании газа.

Место вихреобразования в средах его обитания

Активному ВО подвержена атмосферная среда средних и тропических широт. Здесь формируются одноимённые им циклоны с их ураганами и тайфунами соответственно. Массовым местом обитания циклонов являются приполярные широты на границе встречных Западного и Восточного переносов.

Вихреобразованию подвергаются локальные места образования циклонов, их ураганов и смерчей: на юге США у Мексиканского залива (долина торнадо), на мелководье Гавайских островов, в экваториальных водах Тихого и Атлантического океанов, на северо-востоке Черного моря, в Бенгальском заливе и др. Здесь ВО соседствует с локальными активными восходящими потоками стокового типа в поле отклоняющего действия силы Кориолиса [Даниленко и др., 2018a]. Максимум эффекта отклоняющей силы Кориолиса приходится на Полярные широты Северного и Южного полушарий Земли – местам активации и обитания циклонов с их циркуляцией по суточному вращению Земли (рис. 1).

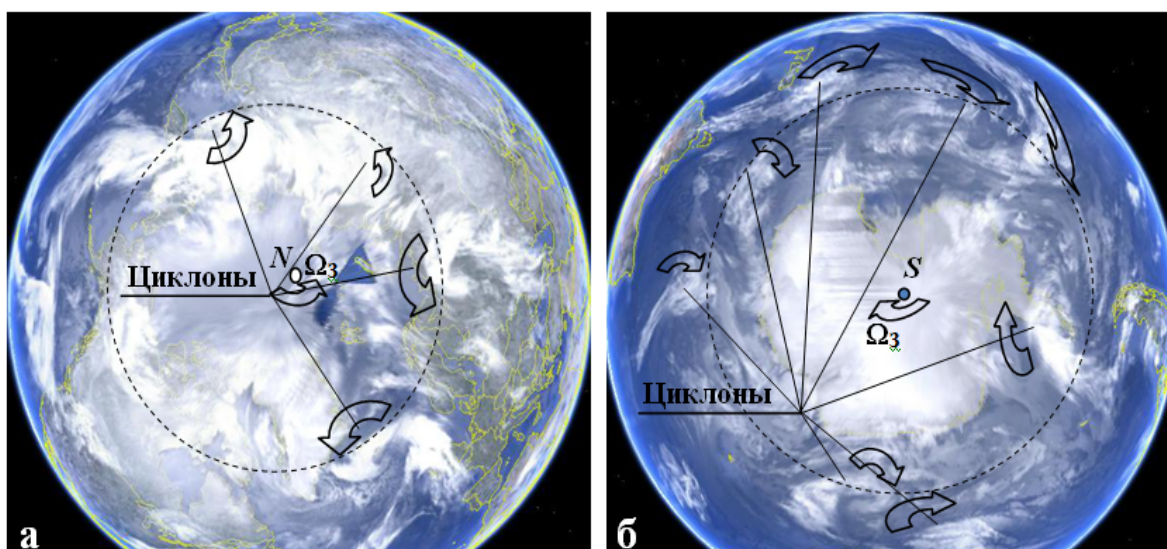


Рисунок 1 – циркуляция циклонов у Полярного круга Земли:
а – Северного полушария; **б** – Южного полушария

Особенности мест формирования вихреобразования:

- активный приток солнечной радиации в сочетании с мелководьем морской акватории (Гавайи и др.) и восходящими тепловыми потоками Архимеда;
- антициклонические застойные области в зонах активного парообразования – северное побережье Мексиканского залива, Бенгальский залив, Юго-Восточная Азия (Китай, Корея, Приморье, Япония и им подобные);
- глобальные акватории ветров пассат Тихого океана вдоль экватора в поле разрыва тангенциальной скорости встречных Восточного и Западного переносов экваториальных атмосферных масс и др.

Особенности реализации рабочего процесса вихреобразования

США – родина торнадо. Начало исследования торнадо приходится на середину XIX века. Первые официальные исследования начаты учеными США. Их лидером можно считать метеоролога-исследователя Эспи Д. П., предложившего «Философию бурь», 1840 г. [Эспи, 1840]. Но её не поддержала наука США. Наступило время застоя. И ныне учёные США в рубрике *FAQ* утверждали: «Мы не понимаем торнадо». Но торнадо (смерчи) – продукт ВО. Следовательно, современные учёные США не понимают вихреобразования. Такого мнения придерживаются учёные-метеорологи других стран и нашего государства.

Разрешение этого противоречия кроется в одном из изобретательских приёмов «Сделай наоборот» [Альтшуллер, 2011]. Это означает, что исследование глобальных вихрей и их вихревого продукта следует начать с элементарно простого – от силового воздействия на газ к скорости (источнику вихревой активности газа), градиентам (разрыву скорости), вращению частиц « $\omega \neq 0$ », теореме Стокса и к вихревому продукту в его явном виде – циркуляции скорости I , равной напряжению Γ и далее к параметрам оценки интенсивности вихреобразования.

Как следствие – слабое понимание и (или) отсутствие познания физической сущности и рабочего процесса ВО и его вихрей. Следовательно, нет возможности установления потребных математически и физически обоснованных граничных условий для разработки соответствующих моделей вихреобразования и его вихревого продукта – вихрей и их аналогов. Его результаты крайне необходимы для исследования загадочных газодинамических вихревых явлений, установления их физической сущности, закономерностей, вихревых характеристик и их следствий – областей практического применения.

Стоит проблема газо-гидродинамического вихреобразования во всём разнообразии его физической сущности и рабочего процесса. Она должна решаться в опоре на известные вихревые теоремы Гельмгольца, Стокса, на закон Био – Савара [Лойцянский, 1970; Ништ, 1994], основные уравнения

движения газа, уравнение неразрывности течения газа [Котовский, 2015] и основы кинематики его вращательного движения [Тарг, 1974]. Проблема ВО также зависит от солнечной активности, пики которой совпадают с повышением мощности ураганов [Алексеева, 1985].

Насущной проблемой остается определение газодинамического процесса вихреобразования и его вихревого продукта от глобальных вихрей до вихревой пелены. Неполным является перечень основных уравнений и теорем, например, теоремы о вихреобразовании с его рабочим процессом и классификацией вихрей, а также теоремы о вихревом поле вращения Земли относительно Полярной оси NS , как источника постоянно действующей вихревой активности рабочей среды, сущности его закономерностей, вихревых характеристик и следствий с примерами областей практического применения.

Таким образом, проблемы естественного вихреобразования требуют настоящего их исследования и разрешения.

Объект исследования выбран. Цели исследования установлены. Особенности решаемой задачи изложены. Мнение внешних специалистов вихреобразования – будет изложено ниже.

Состояние вопроса познания естественного вихреобразования

Уровень познания ВО определён трудами академика В. Д. Наливкина. Его монографии – настольные книги учёных [Наливкин, 1984; Наливкин, 1969]. Доктор технических наук В. В. Кушин создал гравитационно-тепловую теорию смерча. В теории техногенного ВО – большой вклад доктора технических наук А. И. Евдокимова и А. А. Комова. При этом не заметен вклад иностранных учёных. Их мнение и результаты исследований могут быть полезны для настоящей статьи:

1. «Исследователь Национальной лаборатории штормов США Гарольд Брукс утверждает: *«Американские учёные признают, что не понимают, почему ураганы зарождаются лишь в определенных точках штормового фронта и этого не происходит там, где их следовало бы ждать. Неизвестно и то, почему торнадо наносят удар в определенное время»* [Наука и техника..., 2022].

Заключение авторов по мнению п. 1: «Точки зарождения торнадо необходимо находить не только в самом атмосферном фронте, но и по условиям на подстилающей поверхности. Их совокупность даст более точное решение».

2. *«Энергия «рядового» торнадо диаметром в один километр сравнима с энергией первой в мире атомной бомбы, взорванной в США в 1945 году»* [Торнадо..., 2022].

Заключение по мнению п. 2. «В исследовании ВО и его естественных вихрей не следует стремиться к погоне за торнадо. Существуют более безопасные и доступные к исследованию их аналоги – вихри ВЗ реактивных ВС. Результаты этих исследований открывают многие секреты смерчей (торнадо)».

3. «Ученые неплохо осведомлены, что такое торнадо, исследования активно ведутся не одно десятилетие. Но несмотря на то, что строение смерча хорошо изучено, раскрыть точные причины образования смерчей пока не удаётся» [Смерч – торнадо..., 2022].

Заключение по мнению 3. «Допущены грубые ошибки в постановке задачи исследования торнадо. Недостаточен набор знаний для установления РП торнадо. Исследователями не востребованы знания смежных наук».

4. Дмитрий Киктев, заместитель директора Гидрометцентра РФ, канд. физ.-матем. наук: «Бороться с торнадо пока наука не научилась, так как плохо понимает механизм этого явления. Главное, что не удаётся построить математические модели, для этого не хватает знаний» [Наука и техника..., 2022].

Заключение по мнению 4. «Механизм торнадо заключён в воздействии на исследуемый поток средствами энергообмена, в формировании градиентов скорости и моментного поля ($M(\omega) \neq 0$) и реализации его энергии в вихревом теле циклона, смерча, торнадо и др. Первые математические модели смерча [Кушин, 1993] и вихрей ВЗ [Даниленко и др., 2011] защищены авторским правом ВАК».

Как видим, естественные газодинамические явления, такие как атмосферные фронты, их циклоны, шквалы, смерчи (торнадо в США), следовательно, и малогабаритные их аналоги – техногенные вихри воздухозаборников (ВЗ) при работе газотурбинных двигателей (ГТД) на аэродроме – это продукт вихреобразования (см. рис. 1 б). И ныне, как в 18-м веке, они полны неразрешимых газодинамических противоречий и проблем, которыми занимаются учёные Российской Федерации.

Отметим, лёгкая доступность созерцания смерчей и малогабаритных вихрей ВЗ авиационных газотурбинных силовых установок (ГТСУ) противоречит отсутствию понимания их рабочего процесса [Торнадо..., 2022] и обоснованию его математическим и экспериментальным моделированием. В то же время, самое простое, доступное и очевидное противоречие вихревого рабочего процесса заложено в определении естественного газодинамического явления «вихреобразование» [Ефремова, 2000]. Рассмотрим эту противоречивую проблему перехода рабочего тела от потенциального течения к вихревому, далее к вихреобразованию и к существующей многоликости его вихрей [Торнадо..., 2022].

Ныне под определением «Вихреобразование» представляется простое лингвистическое словосочетание пары корней двух слов. А именно:

«Вихреобразование – образование вихря, вихрей» [Ефремова, 2000].

Как видим, такое определение ВО действительно не содержит в себе как физической, так и газодинамической сущности его переходного рабочего процесса от потенциального течения газа к вихревому его состоянию. Следовательно, глобальному вихревому газодинамическому явлению пока нет определения по его физическому существу. Стоит задача:

– установить физическую сущность и РП вихреобразования;

- выявить параметры эффективности, режимные параметры и факторы влияния на вихреобразование;
- представить рабочий процесс вихреобразования газа в опоре на основные уравнения его движения [Нечаев и др., 2005], законы термодинамики [Котовский, 2015], аэродинамики летательных аппаратов [Ништ, 1994] и других наук, определяющих механику его движения [Лойцянский, 1970];
- предложить определение вихреобразования на уровне его рабочего процесса;
- сформулировать теорему о вихреобразовании, отвечающую процессу преобразования исходного потенциального течения газа в течение вихревое с последующим формированием на выходе вихревого продукта во всём существующем его разнообразии.

Введение в теорему о вихреобразовании газовых сред Земли

Теорема о вихреобразовании может быть доказана на основе установления рабочего процесса газовых (жидких) рабочих тел (сред), совершающих переход от состояния потенциального течения к вихревой активности посредством вращения частичек исследуемого газа с угловой скоростью ω , отличной от нуля [Ништ, 1994]. При таком подходе определение вихреобразования на основе разрешения существующих газодинамических противоречий, установления его физической сущности и РП, классификации, вихревых характеристик и их следствий может приобрести статус газодинамической вихревой теоремы.

Исходная база в решении задач познания вихреобразования заложена в классической аэродинамике [Ништ, 1994], механике жидкости и газа [Лойцянский, 1970], теоретической механике [Тарг, 1974], разделы которых частично посвящены циркуляции газа и кинематике вращения ($\omega \neq 0$) его частиц (твёрдых тел), (рис. 2).

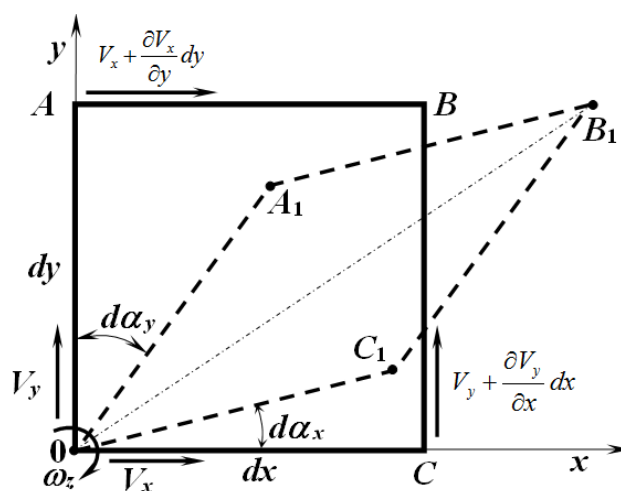


Рисунок 2 – Деформация исследуемой частицы в поле проявления её вращения ($\omega > 0$) и деформации

Воспользуемся законами, теоремами и уравнениями указанных источников с выходом на критерии вихревой активности элементарной частицы рабочего тела (РТ) в поле её сдвига и вращения [Ништ, 1994].

Конечным продуктом указанного кинематического взаимодействия внешней среды с исследуемой частицей "0A₁B₁C₁0" (см. рис. 2) является её угловая скорость ω .

Модуль $|\omega|$ угловой скорости вращения определён проекциями $\omega_x, \omega_y, \omega_z$,

$$|\omega| = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2}, \quad (1)$$

кинематически связанными с градиентами линейной скорости V [Ништ, 1994].

$$\begin{aligned} \omega_x &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_z}{\partial y} - \frac{\partial V_y}{\partial z} \right) = f \left(\frac{\partial V_z}{\partial y} \text{ и } \frac{\partial V_y}{\partial z} \right); \\ \omega_y &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_x}{\partial z} - \frac{\partial V_z}{\partial x} \right) = f \left(\frac{\partial V_x}{\partial z} \text{ и } \frac{\partial V_z}{\partial x} \right); \\ \omega_z &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{\partial V_x}{\partial y} \right) = f \left(\frac{\partial V_y}{\partial x} \text{ и } \frac{\partial V_x}{\partial y} \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Видим, первообразной в РП вращательного движения (ВО) частички РТ являются градиенты скорости – правая часть проекций ω_x, ω_y , и ω_z (2).

Выражения (1) и (2) определяют известные [Ништ, 1994] критерии потенциального ($\omega = 0$) и вихревого ($\omega \neq 0$) движения РТ, характер процесса ВО, а также указывают способы оценки его активности посредством известных из теории вихрей и теоремы Стокса напряжения вихря Γ и циркуляции скорости I [там же, с. 19]. Действительно, по математическому выражению (3) теоремы Стокса очевидна функциональная взаимосвязь равенства напряжения вихря Γ (циркуляции скорости I), определяемой угловой активностью $\omega \neq 0$ частиц исследуемой среды, с градиентами (2) линейной скорости V . Тогда имеем газодинамическую взаимосвязь, определяющую физическую сущность и РП вихреобразования, представленную функциональной частью теоремы Стокса (3).

$$I = V_l dl = 2 \iint_S \omega ds = \Gamma = f \left(\omega, \frac{\partial V_z}{\partial y}, \dots, \frac{\partial V_x}{\partial z}, \dots, \frac{\partial V_y}{\partial x}, \frac{\partial V_x}{\partial y} \right). \quad (3)$$

Параметры эффективности вихреобразования

К параметрам эффективности вихря относят известные [Ништ, 1994] напряжение вихря Γ и циркуляцию скорости I . Они нашли широкое применение в аэродинамике [там же], механике жидкости и газа [Лойцянский, 1970]. Очевидно их применение для оценки интенсивности вихреобразования и построения его вихревых характеристик.

Проблема вводимых параметров эффективности вихреобразования

Напряжение Γ и циркуляция скорости I явно не замкнуты на уравнения движения газа [Нечаев и др., 2005]. Они зависят от угловой скорости ω , определяющей кинетическую энергию движения газа и его компоненты.

В такой ситуации к параметрам эффективности вихревой среды может быть отнесена кинетическая энергия вращательного (вихревого) движения газа « $J \cdot \omega^2 / 2$ » [Тарг, 1974]. По мнению авторов настоящей статьи, она должна работать совместно с элементами уравнения сохранения энергии (УСЭ) движения газа [Нечаев и др., 2005]. Это уравнение определяет его графическую модель (рис. 3) и возможный перечень режимных параметров, активно влияющих на РП вихреобразования, на многоликость его вихрей, включая их классификацию и определения по сущности рабочего процесса.

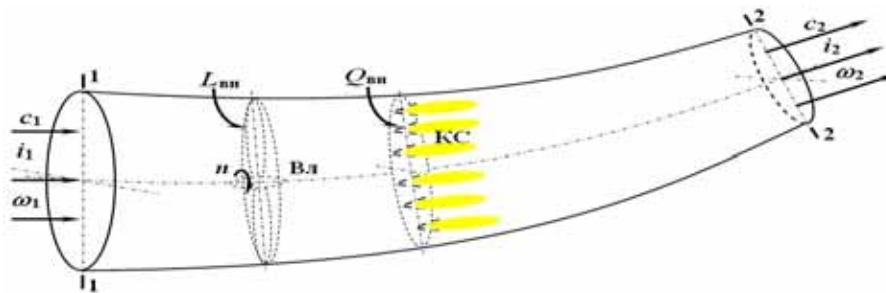


Рисунок 3 – Трубка тока установившегося движения газа

Уравнение сохранения энергии движения идеального газа при установившемся течении [Нечаев и др., 2005], используемое в теории газотурбинных двигателей, представляется в удельных (для 1 кг газа) параметрах балансом энтальпии « i_1 » и кинетической энергии « $c_1^2 / 2$ » по входу в исследуемый канал.

$$i_1 + \frac{c_1^2}{2} \pm L_{\text{вн}} \pm Q_{\text{вн}} = i_2 + \frac{c_2^2}{2} \quad (4)$$

Далее следует энергообмен посредством внешней механической работы « $\pm L_{\text{вн}}$ » и теплоты « $\pm Q_{\text{вн}}$ ». На выходе канала тока (сеч. 2-2) полная энергия газа равна сумме тех же параметров – энтальпии « i_2 » и кинетической энергии « $c_2^2 / 2$ ».

Как видим, уравнение (4) определяет строгий, узаконенный наукой рабочий процесс преобразования удельной энергии газа из одного вида в другой с учётом внешнего энергообмена, что подтверждено его определением.

При установившемся течении полная энергия 1 кг газа на входе в исследуемый канал (сеч. 1-1) отличается от полной энергии газа на его выходе (сеч. 2-2) на величину энергообмена, осуществляемого посредством внешней механической работы $L_{\text{вн}}$ и теплоты $Q_{\text{вн}}$.

Анализ уравнения (4) сохранения энергии движения газа показывает, что в нём отсутствует параметр кинетической энергии вращательного движения газа, представленного модулем угловой скорости $|\omega|$ (1) и её проекциями (2).

В профилированных справочниках и энциклопедиях, издаваемых ранее, учёт кинетической энергии вращения газа $E_{к.вр}$ представлялся выражением $J \frac{\omega_{вр}^2}{2}$. Ранее, в уравнении (4), предполагалось, что параметр $E_{к.вр}$ относится к виду потерь и вместе с потерями на трение учитывается теплотой $Q_{вн}$. В аэродинамике вихревые потери вязкого срыва потока учитываются известным индуктивным сопротивлением Q_i и его коэффициентом c_{xi} ($Q_i = c_{xi} (\rho V^2 / 2) S$) [Ништ, 1994].

Как показывает опыт исследования вихреобразования естественных сред, кинетическая энергия вращательного движения $E_{к.вр} = J \omega_{вр}^2 / 2$ должна быть в составе элементов уравнения (4). Её место в левой и правой частях уравнения сохранения энергии движения газа. Предлагаемая рекомендация определена выводами пары исследований:

1. Полярный фронт Земли в поле работы силы трения у её подстилающей поверхности создаётся градиентами тангенциальной скорости c_τ по высоте её пограничного слоя. Они генерируют вихревую закрутку $\omega_{h=0} \neq 0$ приземной среды, переходящую в моментное поле $M(\omega) \neq 0$ и фронтальный атмосферный вихрь, обладающий запасом кинетической энергии $E_{к.фр} = J \omega_{фр}^2 / 2 \gg 0$. Она способна занять своё место в уравнении сохранения энергии движения газа (4).

2. Работа силы Кориолиса [Даниленко и др., 2018а] генерирует и аккумулирует в поле стокового течения грозовых облаков вихревую активность и смерчи, располагаемые запасом кинетической энергии $E_{к.см} = J \omega_{см}^2 / 2 \neq 0$, упомянутой выше. Та же сила в стоке воздухозаборника ГТСУ реактивных ВС генерирует их мини-аналоги – продукт техногенного вихреобразования, исследуемый учёными Российской Федерации [Евдокимов и др., 2001].

Эти примеры, показывают необходимость введения кинетической энергии $J \frac{\omega_i^2}{2}$ вращательного движения газа в уравнение сохранения энергии (4). Следует помнить, что в удельных параметрах (для 1 кг газа) момент инерции, равный $J = mr^2$, примет вид $\bar{J} = r^2$, где r – плечо момента массы.

При таком подходе кинетическая энергия $E_{к.вр} = m \omega^2 / 2$ вращательного движения 1 кг газа примет вид $\bar{E}_{к.вр}$ нового активного параметра оценки эффективности исследуемого вихреобразования.

$$\bar{E}_{к.вр} = \frac{r^2 \cdot \omega^2}{2}. \quad (5)$$

Как в уравнении теоремы Стокса (3), так и в формуле (5) удельной кинетической энергии вращательного движения газа, заложен критерий потенциального движения газа « $\omega = 0$ » [Ништ, 1994, с. 25]. В таком случае, критерием вихревого движения газа считается известное неравенство « $\omega \neq 0$ ». Количественно вихревую активность движения газа оценивают напряжением

вихря Γ и циркуляцией скорости I . Тогда параметр $\bar{E}_{к.вр}$ (5) достойно встанет в их ряд.

Введём удельную кинетическую энергию $\bar{E}_{к.вр}$ вращательного движения газа в уравнение сохранения энергии (4) и получим его модификацию, потребную для установления функциональных её связей с режимными параметрами и факторами генерации вихревой активности исследуемой газовой среды. Они также необходимы для формирования нового определения вихреобразования по фактам физической сущности и многоликости его рабочего процесса.

$$i_1 + \frac{c_1^2}{2} + \frac{\omega_1^2 r_1^2}{2} \pm L_{вн} \pm Q_{вн} = i_2 + \frac{c_2^2}{2} + \frac{\omega_2^2 r_2^2}{2}. \quad (6)$$

Преобразуем уравнение (6) в функциональную зависимость вида

$$\frac{\omega_2^2 r_2^2}{2} = i_1 - i_2 + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} \pm \frac{\omega_1^2 r_1^2}{2} \pm L_{вн} \pm Q_{вн} = f(\Delta i, \frac{r_1^2 \omega_1^2}{2}, \frac{\Delta c^2}{2}, L_{вн}, Q_{вн}). \quad (7)$$

Находим, что исследуемая вихревая активность среды $\bar{E}_{к.вр} = r_2^2 \cdot \omega_2^2 / 2$ по выходу из канала (струи) тока газа определена базовыми факторами ВО:

- фактором избытка энтальпии газа $\Delta i \neq 0$;
- избытка кинетической энергии $\Delta c^2 / 2 \neq 0$;
- сбора внешней завихрённости $(r_1^2 \omega_1^2) / 2 \neq 0$;
- фактором энергообмена механической работой $L_{вн}$ и теплотой $Q_{вн}$, сопровождающимся разрывом тангенциальной скорости $\Delta c \neq 0$ и $\omega \neq 0$.

Возможны и другие факторы (способы) генерации вихревой активности и ВО. Например, воздействие силы вязкого трения, как о подстилающую поверхность, так и между слоями вязкого газа на границе раздела его сред. К нему следует добавить отрыв потока с острых кромок примыкающих аэродинамических поверхностей и горных хребтов, взрывы у подстилающей поверхности с формированием поверхностного вихревого кольца, вихревой дорожки Кармана за плохо обтекаемым аэродинамическим телом и др. Фактором вихреобразования является генерация дифференциальных вихрей от разрыва их циркуляции $\Delta I \neq 0$, часто встречаемых на флангах атмосферных фронтов Земли и по их длине l . Механический аналог этих вихрей – дифференциальный редуктор ведущего моста автомобиля и других устройств (машинка для арифметических операций, швейная машинка Зингера и др.).

Алгоритм вихреобразования

Алгоритм ВО определён очерёдностью предлагаемых воздействий:

- силовое, тепловое, электрическое (разряды молний), газодинамическое и (или) иное воздействия на газ;

- изменение градиентов скорости (3);
- угловое вращение ($\omega \neq 0$) с формированием моментного поля $M(\omega) \neq 0$ по удельной кинетической энергии вращательного движения ($r^2\omega^2 / 2 \neq 0$);
- активация и генерация вихрей в виде устойчивых вращающихся видимых и невидимых газодинамических «вихревых тел» и др.

По указанному перечню предлагается упрощённое определение ВО.

Вихреобразование газа (жидкости) – газогидродинамический процесс преобразования исходного потенциального течения ($\omega = 0$) газа в течение вихревое ($\omega \neq 0$) посредством энергообмена с внешней средой известными по закону сохранения энергии способами.

Представленное стартовое определение вихреобразования позволяет установить физическую сущность и рабочий процесс по возможной совокупности факторов его активации, классификацию ВО и его определение по физической сущности и рабочему процессу газодинамического вихревого продукта в виде существующей многоликости естественных циркуляций, циклонов и их вихрей, включая техногенные малогабаритные аналоги смерчей – вихри ВЗ у земли.

Классификация вихреобразования и частные его определения

Определение ВО газовых (жидких) сред представляет собой обобщающее следствие кинематического, газодинамического и математического обоснования рабочего процесса, физической сущности, способов генерации, активации вихреобразования, критериев его эффективности, классификации по сущности его РП, а также определения рабочего процесса вихревого продукта во всех его видах. Полное определение ВО можно представить следующим образом.

Вихреобразование – газогидродинамический процесс свободно взвешенных сплошных сред газа (жидкости) на пути преобразования потенциального течения ($\omega = 0$) в течение вихревое ($\omega \neq 0$) посредством избытка энтальпии (Δi), кинетической энергии поступательного ($\Delta(V^2 / 2) \neq 0$) и вращательного ($\Delta(\omega^2 r^2 / 2) \neq 0$) движения, энергообмена с внешней средой избыточной механической работы ($\Delta L_{\text{вн}} \neq 0$) и (или) теплоты ($\Delta Q_{\text{вн}} \neq 0$), работой сил вязкого трения ($L_{\text{тр}} \neq 0$) у подстилающей поверхности раздела взаимодействующих сред, вихревой активностью аэродинамических генераторов вихрей со срывом и отрывом потока у обтекаемых тел и иных способов генерации с последующим выходом на градиенты линейной скорости, угловое вращение ($\omega \neq 0$), моментное поле ($M = f(\omega) \neq 0$) и вихревой продукт в виде глобальных переносов и циркуляций с их атмосферными фронтами, циклонами (тайфунами), ураганами, смерчами (торнадо) и другим продуктом вихревой деятельности.

Классификация вихреобразования (рис. 4) строится на базе полного и (или) частного его определения с установлением каждого вида ВО,

соответствующего факторам природы его образования, рабочего процесса и факторам его генерации и активации. Простейшая классификация ВО имеет следующий вид.



Рисунок 4 – Классификация вихреобразования по природе, сущности рабочего процесса и источникам энергии

Факторы генерации и активации вихреобразования и источники энергии вихревой активности:

- приток кинетической энергии вращения газа ($\Delta(\omega^2 r^2 / 2) > 0$);
- энергообмен газа (РТ) избыточной механической работой ($\Delta L_{\text{вн}} > 0$);
- энергообмен газа избыточной теплотой ($\Delta Q_{\text{вн}} > 0$);
- энергообмен газа работой сил вязкого трения у подстилающей поверхности (поверхности раздела) взаимодействующих газовых сред;
- приток внешней вихревой активности и активности, наведённой аэродинамическими поверхностями и иными (интерференционными и др.) способами.

Вихреобразованию подвержены свободно взвешенные жидкие и газовые среды Земли, элементарные частицы которых обладают способностью к активному изменению запаса кинетической энергии вращательного движения газа ($E_{\text{к.вр}} \neq 0$), отвечающие критерию вихревого движения среды ($\omega \neq 0$).

Естественное вихреобразование

Естественное вихреобразование (ЕВО) – вихреобразование в естественных газовой, жидкой и вязкой средах без участия технических и промышленных средств внешнего воздействия посредством механической работы, теплоты и иных способов его генерации и активации.

Яркими примерами естественного ВО являются глобальные атмосферные циркуляции и обусловленные ими переносы газовых и жидких сред по замкнутым круговым контурам, графически представленные схемой на рис. 5.



Рисунок 5 – Естественное ВО в виде переносов, атмосферных фронтов и их циклонов средних и полярных широт, *Источник: https://cf.ppt-online.org/files1/slide/x/Xca2oe93P0_7V1RArpKHsUIdyQZbFih6uWCJSYBLND/slide-58.jpg*

Как видим, это Полярные, Западные и Экваториальные переносы воздушных масс, конвективно-тепловые и центробежные циркуляции [Даниленко, 2004], циркуляции жидких сред типа Гольфстрим и др.

Существует множество локальных переносов ЕВО, создаваемых:

- нестационарным по времени суток и сезонам года притоком солнечной радиации;
- интерференционным взаимодействием циклонов и антициклонов;
- примыкающим рельефом местности с вязким срывом и инерционным отрывом потока;
- аэродинамической деформацией воздушных потоков и атмосферных переносов в местах расположения высокогорных массивов с их срывом и отрывом воздушного потока и др.

Техногенное вихреобразование

Техногенное вихреобразование (ТВО) – вихреобразование газовой, жидкой и вязкой сред в поле реализации внешних средств технического воздействия их несущих поверхностей, стоков, истоков (струй) и иного (боевого, взрывного) воздействия в процессе их эксплуатации.

По своим масштабам техногенное ВО носит локальный характер. Например, кольцевые техногенные вихри при выхлопе газа тепловых двигателей, топков локомотивов поездов, теплообменников промпредприятий (см. рис. 6) и др.

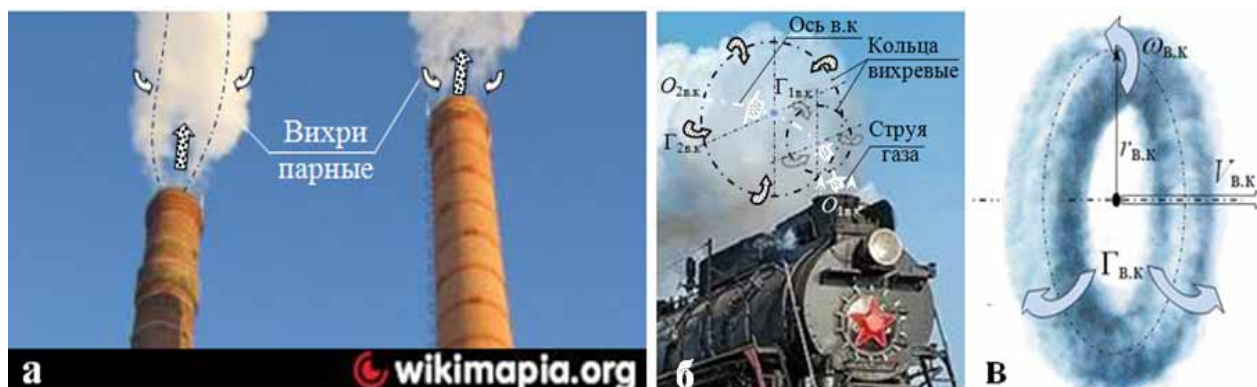


Рисунок 6 – Примеры истоковых техногенных вихрей: а – боковые вихри дымовых труб, *Источник: [https://fotofree.ru/wp-content/uploads/photo-gallery/ecology_\(1from1\).jpg](https://fotofree.ru/wp-content/uploads/photo-gallery/ecology_(1from1).jpg)*; б – кольцевые вихри тепловых машин, *Источник: https://a.d-cd.net/417h_dp7fOrubndCzy6ELwD3RhE-960.jpg*; в – рабочий процесс перемещения газового вихревого кольца железнодорожного локомотива

Заметны и доступны к исследованию малогабаритные техногенные вихри стокового типа перед ВЗ газотурбинных силовых установок реактивных воздушных судов (рис. 7) при работе их газотурбинных двигателей на земле.



Рисунок 7 – Стоковые техногенные вихри ВЗ: а – интенсивные, *Источник: https://ic.pics.livejournal.com/al_datr/31048754/600146/600146_900.jpg*; б – малой интенсивности, *Источник: https://ic.pics.livejournal.com/diana_mihailova/78277673/4642658/4642658_900.jpg*; в – размытой интенсивности, *Источник: <https://imgproc.airliners.net/photos/airliners/5/1/7/1017715.jpg>*

Продуктом естественного и техногенного ВО являются следующие подклассы вихрей – дифференциальные, стоковые, градиентные и интерференционные. Дадим определения и анализ рабочего процесса естественного вихреобразования.

Обоснование рабочего процесса естественного вихреобразования

Определения РП и ВО по его сущности имеют математическое обоснование, доказанное выше развёрнутым выражением уравнения сохранения энергии движения газа (7). В сокращённом функциональном виде

оно более наглядно и соответствует конечному продукту вихреобразования и его рабочего процесса, то есть, кинетической энергии вращения газа на выходе канала тока (см. рис. 3).

$$\frac{\omega_2^2 r_2^2}{2} = f\left(\Delta i, \frac{r_1^2 \omega_1^2}{2}, \frac{\Delta c^2}{2}, L_{\text{вн}}, Q_{\text{вн}}\right). \quad (8)$$

Представим определение рабочего процесса вихреобразования естественных сред в поле действующих факторов генерации их вихревой активности, определяемых функциональным уравнением сохранения энергии (8).

Конечный продукт – удельная кинетическая энергия вращения частиц газа естественной среды на выходе исследуемого канала тока (рис. 3, сеч. 2-2).

Факторы энергообмена определены уравнением (8):

- приток вихревой активности внешней среды $(r_1^2 \omega_1^2) / 2 > 0$;
 - энергообмен в пределах сечений канала тока 1-1 и 2-2 посредством избытка внутренней энергии, т. е. энтальпии $\Delta i > 0$;
 - внутренний энергообмен в канале тока (1-2) посредством избытка кинетической энергии $\Delta c_{1-2}^2 / 2 > 0$;
 - внешний энергообмен в поле стокового потока посредством работы отклоняющего действия силы Кориолиса [Даниленко и др., 2018б];
 - внешний газодинамический энергообмен работой силы давления газа в поле порывов ветра и др.;
 - внешний конвективно-тепловой энергообмен от притока теплоты в поле солнечной радиации и других источников тепла естественного типа, включая теплоту вулканических извержений, термальных источников и др.
- Закономерность функциональной зависимости вихревой активности газа на выходе канала тока от приведенных факторов энергообмена (8) позволяет предложить определения рабочего процесса естественного вихреобразования и его вихрей многих типов.

Естественное вихреобразования стокового типа

Представим определение естественного ВО стокового типа.

Естественное вихреобразование стокового типа – процесс преобразования у подстилающей поверхности потенциального ($\omega = 0$) течения сплошной стоковой среды в течение вихревое с реализацией энергообмена внешних и внутренних факторов, сопровождаемого силовым (тепловым) воздействием на рабочие частицы исследуемой среды, последующей генерацией градиентов скорости, ведущих к угловому вращению ($\omega \neq 0$), формированию вихревой пелены и её вихрей, закрутке их в моментном вихревом поле $M_{\text{вр}} = f(\omega_{\text{вр}}) \neq 0$ и поджатию в поле стока с аккумуляцией при замыкании их на подстилающую поверхность и далее к стоковому ВО и его

вихрям.

Предложенный алгоритм – суть рабочего процесса не только естественных, но и техногенных вихрей стокового типа. Это вихреобразование заложено в основу смерчей, циклонов, вихрей атмосферных фронтов и им подобных газодинамических явлений.

Рабочий процесс естественного вихреобразования стокового типа

Источники энергии естественного вихреобразования (рис. 8):

- скрытая теплота парообразования влажного рабочего тела $Q_{п.о} > 0$;
- теплота грозových электрических разрядов $Q_{э.р} > 0$;
- теплота конвективно-теплого энергообмена у подстилающей поверхности земли (воды) $Q_{к.т.э} > 0$;
- естественная вихревая активность внешней среды $(\omega_{вн}^2 r_{вн}^2 / 2) > 0$.



Рисунок 8 – Смерч, форсированный полем электрических разрядов:
а – смерч материнского облака, *Источник: https://avatars.mds.yandex.net/get-images-cbir/1667035/5Ma26RPNsyQEh2b_nS_6vw5177/ocr*; б – смерч атмосферного фронта, *Источник: <https://avatars.mds.yandex.net/i?id=86afcae376010961f448cc6670dd7804-5860005-images-thumbs&n=13&exp=1>*

Определения рабочего процесса естественного ВО стокового типа

Рабочий процесс естественного ВО стокового типа в поле скрытой теплоты парообразования – процесс материнского облака над подстилающей поверхностью по генерации в поле отрицательной температуры скрытой теплоты парообразования, сопровождаемый локальным естественным подогревом рабочего тела облака, увеличением его удельного объёма и подъёмной силы Архимеда с последующим восходящим ускорением отработавшей среды облака и одновременным газодинамическим забором новых порций влажного воздушного потока от подстилающей поверхности земли (воды), организацией у её плоскости активного стокового течения, циклонически отклоняемого от радиального направления и входящего в восходящую спираль Архимеда, совершаемого работу циркуляции скорости и преобразование потенциального $\omega = 0$ течения рабочего тела в течение

вихревое $\omega \neq 0$, замкнутое на подстилающую поверхность, устремлённое к стоку и формирующее вихрь, смерч (циклон), как продукт естественного вихреобразования стокового типа (см. рис. 8).

У вихреобразования стокового типа также образуются вихри, генерированные притоком внешней завихрённости. Дадим их определение.

Рабочий процесс естественного ВО стокового типа в поле сбора внешней вихревой активности – стоковый процесс материнского облака, расположенного над подстилающей поверхностью, по сбору в поле стокового течения внешней вихревой активности, замкнутой на её плоскость, с поджатием и аккумуляцией её стоковым потоком, формирующим вихрь, смерч (циклон), как продукт естественного вихреобразования стокового типа.

У замкнутых на подстилающую поверхность земли смерчей (циклонов) стокового типа с притоком внешней и внутренней теплоты, включая теплоту электрических разрядов, имеется иное, термодинамическое определение.

Смерч (циклон) естественного стокового типа – тепловая газодинамическая машина, форсируемая теплотой электрических разрядов, преобразующая скрытую теплоту парообразования и конвективно-теплого энергообмена у земли, внешнюю вихревую активность и вихри силы Кориолиса в вихредиполь грозового облака, обеспечивающий формирование в стоковом потоке вихревой закрутки ($\omega_{вр} \neq 0$) с её циклоническим моментным полем $M_{вр} = f(\omega_{вр}) \neq 0$, устремлённой внутрь грозового облака, переходящего в состояние смерча, либо развитого циклона, как продукта естественного вихреобразования стокового типа.

Рабочий процесс естественного ВО дифференциального типа

Источник энергии – работа циркуляции I тангенциальной скорости c_τ на разрыве её модуля ($|\Delta I| \neq 0$). Источником разрыва циркуляции I исследуемого вихря - неравномерность фактора генерации циркуляции \mathbf{I} по длине вихря.

Рабочий процесс дифференциального ВО естественного типа – газодинамический процесс преобразования разности (избытка) работы циркуляции $\Delta I \neq 0$ вектора тангенциальной скорости c_τ у (вне) подстилающей поверхности земли в формирование дифференциального моментного поля $\Delta M_{вр} = f(\omega_{вр}) \neq 0$, генерацию вихревого узла и исходящего из него нового свободно ориентируемого дифференциального вихря циркуляции $\Delta I = I_2 - I_1$, выстраиваемого по вектору местной скорости на бесконечность, либо замыкающегося по следствию теоремы Гельмгольца на подстилающую поверхность.

Типовые примеры естественных смерчей стокового типа, замкнутые на подстилающую поверхность земли (воды), представлены на рисунке 9.



Рисунок 9 – Фото естественных смерчей стокового типа: а – водяной смерч, *Источник: <https://avatars.mds.yandex.net/get-images-cbir/4459476/zcqlLX302QeSDe3GWQ6xWA6063/ocr>*; б – смерч у подстилающей поверхности земли, *Источник: <https://avatars.mds.yandex.net/get-images-cbir/1819563/zcqlLX302QeSDe3GWQ6xWA6424/ocr>*

Примеры кинематики дифференциального вихря представлены на рис. 10.



Рисунок 10 – Кинематика дифференциального смерча: а – смерч, *Источник: <https://img.wallpaperic.com/i704-425-939/medium/forces-of-nature-clouds-road-wallpaper.jpg>*;

б – модель смерча; в – дифференциальный редуктор: 1 – шестерни полуосей; 2 – ведомая; 3 – ведущая; 4 – сателлиты; 5 – корпус

Этот рабочий процесс нашёл применение в методе дискретных вихрей [Белоцерковский и др., 1978] при моделировании разрыва циркуляции исследуемого крыла конечного размаха посредством парных П-образных вихрей, либо вихревых рамок [Дворак, 1985], смежные фланговые части которых формируют в совокупности вихри дифференциального типа.

Смерч дифференциального типа

В основу определения дифференциального смерча (см. рис. 10 а) положено определение его вихреобразования.

Смерч дифференциального типа – вихревое газодинамическое устройство, преобразующее располагаемый избыток $\Delta I = I_2 - I_1 \neq 0$ работы

циркуляции тангенциальной скорости c_τ по замкнутому контуру в циркуляцию формируемого дифференциального вихря $I_{\text{диф}} = \Delta I$, исходящего из центра вихревого узла и замыкающегося на подстилающую поверхность, либо, при её отсутствии, уносимого во внешнее пространство на бесконечность, создающего своё дифференциальное моментное поле $\Delta M_{\text{диф}} = f(\omega_{\text{диф}}) \neq 0$, удовлетворяющее граничному условию Гельмгольца [Ништ, 1994] о замкнутости входящих и исходящих вихрей в вихревом узле, ими образованном, то есть, $I_2 - I_1 + I_{\text{диф}} = 0$.

Рабочий процесс естественного вихреобразования градиентного типа

Рабочий процесс естественного ВО градиентного типа – газодинамический процесс преобразования кинетической энергии разрыва тангенциальной скорости $(\Delta c_\tau)^2 / 2 \neq 0$ естественного потенциального течения попутных, либо встречных потоков контактируемых газовых (жидких) сред, разделённых непротекаемой граничной поверхностью ($c_n = 0$) с полем градиентов тангенциальной скорости c_τ (2, 3), переходящим в энергию углового вращения его частиц ($\omega_\nu \neq 0$) и вихревой пелены, создающей моментное поле ($M_{\text{вр}} = f(\omega_{\text{вр}}) \neq 0$) с генерацией системы замкнутых на подстилающую поверхность мелких вихрей, вихревых шнуров, смерчей, вплоть до глобальных циклонов средних и полярных широт и антициклонических тайфунов тропических широт – фактов процесса газодинамического вихреобразования.

Вид вихревого продукта градиентного ВО представлен на рис. 11:

- 1) серия вертикально ориентированных смерчей у побережья Сочи;
- 2) горизонтально ориентированная вихревая пелена в виде облаков Кельвина у границы тропосферы и стратосферы Земли.

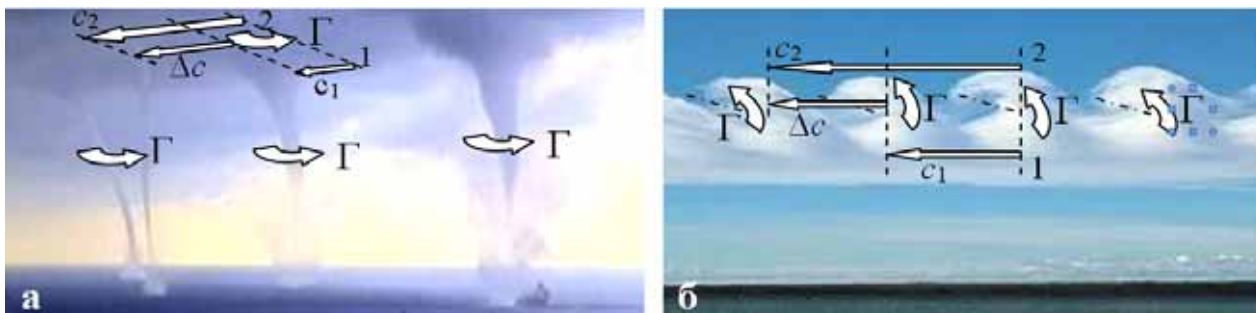


Рисунок 11 – Вихреобразование и его вихри градиентного типа:

а – смерчи, *Источник:* <https://tipsartikeldanpengetahuan.files.wordpress.com/2013/04/puting-beliung1.jpg>;

б – облака Кельвина, *Источник:*

<https://tipsartikeldanpengetahuan.files.wordpress.com/2013/04/puting-beliung1.jpg>

Дадим краткий анализ второй формы представления продукта градиентного вихреобразования в виде облаков Кельвина. Оси вращения этих вихрей лежат в плоскости горизонта. Облака Кельвина возникли естественным путём на границе максимального разрыва по высоте тангенциальной скорости c_τ в наблюдаемом по снимку высотном пограничном слое. Подобный процесс ВО также протекает и в пограничном слое у обтекаемой потоком воздуха

поверхности земли (воды). Его среда является градиентным рабочим телом атмосферных фронтов. Характерным их примером служат известные Полярные атмосферные фронты с их циклонами и смерчами (торнадо).

Обращаясь к теории подобия, можно утверждать, что не исключена возможность формирования в поле облаков Кельвина подобных высотных атмосферных фронтов, не видимых в средах с малой влажностью.

Активно зарекомендовала себя вертикально ориентируемая вихревая пелена градиентного разрыва тангенциальной скорости на границе Западного переноса и пассат, склонная к образованию тайфунов градиентного типа в тропических широтах акватории Тихого океана, определяющих климат Юго-Восточной Азии и восточных окраин РФ.

Тайфуны градиентного типа

В основу тайфуна тропических широт положена кинетическая энергия рабочей среды $(\Delta c_\tau)^2 / 2 \neq 0$, полученная на разрыве тангенциальной скорости c_τ встречных переносов воздушных масс при фланговом силовом взаимодействии их на уровне вязкого трения в поле граничной поверхности их раздела.

Определение тайфуна градиентного типа

Тайфун градиентного типа – интегральный продукт газодинамического сбора в единую вихревую систему кинетической энергии разрыва тангенциальной скорости $(\Delta c_\tau)^2 / 2 \neq 0$ естественных потенциальных потоков встречных западного и восточного переносов, контактируемых по их флангам газовых сред, разделённых непротекаемой граничной поверхностью ($c_n = 0$) с полем градиентов тангенциальной скорости $\Delta c_\tau \neq 0$, переходящим в энергию углового вращения частиц ($\omega_y \neq 0$) вихревой пелены, создающей моментное поле ($M_{вр} = f(\omega_{вр}) \neq 0$) и генерацию системы замкнутых на подстилающую поверхность мелких вихрей, переходящих в глобальные вихреобразования (тайфуны) антициклонического вращения экваториальных широт Земли.

Рабочий процесс атмосферных фронтов

Рабочий процесс большинства атмосферных фронтов обеспечен вихревой активностью градиентного типа, источником которой является работа сил вязкого трения у подстилающей поверхности земли (воды). Представим его определение по сущности рабочего процесса.

Рабочий процесс полярных атмосферных фронтов – процесс аккумуляции вихревой активности сил вязкого трения $F_{тр. y=0} \neq 0$ газовой среды у подстилающей поверхности земли (воды), ведущий к разрыву тангенциальной скорости $\Delta c_\tau \neq 0$ пограничного слоя, угловому вращению частиц $\omega_{тр} \neq 0$, моментному полю $M_{тр}(\omega_{тр}) \neq 0$ и сворачиванию вихревой пелены в горизонтально ориентированный вихрь атмосферного фронта, уравновешенный по высоте подъёмной силой Архимеда и массой атмосферной

влаги, в нём содержащейся.

Стоковое вихреобразование и его определение

Стоковое вихреобразование – продукт стокового сбора естественной (техногенной) вихревой активности атмосферной среды у подстилающей поверхности с последующей аккумуляцией её в базовый вихрь стокового типа, замкнутый на землю и уходящий в сторону материнского объекта его генерации (грозового облака, входа в вентилятор, истока реактивной струи, ...).

Примечание: Максимальное поджатие вихревых нитей (пелены) заключено в рабочем процессе (поджатии струек) генератором стока. Именно там реализуется максимальная плотность циркуляции и скорость на поверхности вихревой трубки. В поле инверсии пара её стенки становятся видимыми, что даёт ложное представление о месте начала формирования вихря. Невидимый вихрь стокового типа активируется у подстилающей поверхности, а приобретает свою активность и визуализацию у стока.

Интерференционное вихреобразование и его определение

Выше установлено, что вихреобразование – процесс преобразования потенциального течения газа в течение вихревое посредством энергообмена.

Указанный процесс вихреобразования может протекать в поле влияния иных факторов, например, зеркального эффекта Прандтля, внешних возмущающих аэродинамических поверхностей, ..., изменяемых исходный процесс вихревой активности исследуемой среды. Полученные газодинамические изменения считаются интерференционными. Представим пример интерференции вихря с подстилающей поверхностью графическим образом (рис. 12).

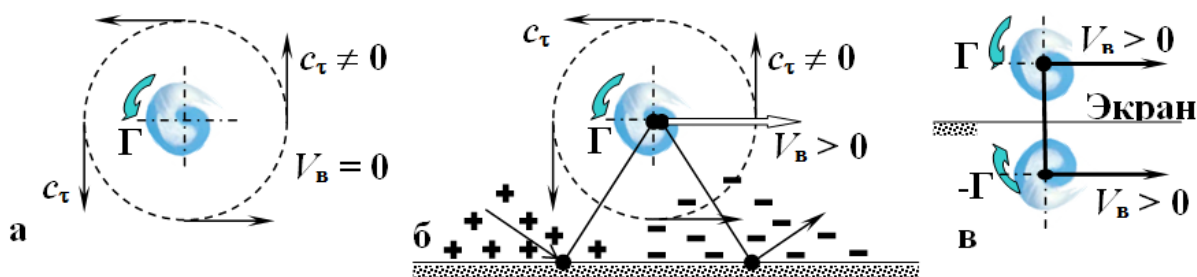


Рисунок 12 – Интерференция вихревая: а – вихрь изолированный; б – вихрь, интерферирующий с экраном; в – модель эффекта экрана

Как видим, вихрь подвергается интерференции только в присутствии экрана. Экран, как генератор интерференции, оказывает положительный эффект в виде авторазгона вихря за счёт энергии циркуляции скорости $\Delta I_B > 0$.

Приведём примеры интерференции вихревого продукта:

- интерференция циклона средних широт с суточным вращением Земли
- источник энергии Западного переноса воздушных масс;

- интерференция тайфуна антициклонического вращения с плоскостью раздела сред на экваторе – восточный интерференционный вихревой перенос;
- пассаты, как продукт обратных токов атмосферной среды в поле увеличения циркуляции скорости по высоте над подстилающей поверхностью Земли;
- полярный восточный перенос в поле действия силы Кориолиса;
- вихревой шквал, как гиперпродукт зеркальной интерференции сгустка вихрей, низко расположенных над подстилающей поверхностью земли (воды);
- интерференция взаимодействия головной части атмосферного фронта со спокойной воздушной средой с образованием фланговых циклонов (рис. 13);
- цикличная смена полярности на Солнце, как продукт встречной интерференции и энергообмена циркуляцией периферийной и центральной частей его материи.



Рисунок 13 – Подобие рабочих процессов газовых и жидких сред атмосферного фронта и арбуза

Существуют и другие способы вихревой интерференции. Дадим определение интерференционному вихреобразованию.

Интерференционное вихреобразование – образование вихревой активности рабочей среды в поле внутреннего и внешнего её взаимодействия посредством энергообмена друг с другом на уровне подвижных сред, их фронтов, циклонов, аэродинамических тел и поверхностей, переходящим в вихревую и (или) линейную активность во всём её разнообразии.

Интерференция может иметь два направления вихревой активности. Например (см. рис. 12):

- поток газа у подстилающей поверхности силой трения генерирует градиентное вихреобразование;

- вихрь у экрана, используя кинетическую энергию вращательного движения, в поле зеркального эффекта Прандтля приобретает эффект авторазгона.

Примеры последнего вихревого эффекта реализованы в природе в виде шквала и автодвижения волны цунами.

Теорема о вихреобразовании газовых (жидких) сред Земли должна представлять собой формулировку процесса перехода потенциального течения в течение вихревое, диктуемое внутренним и внешним энергообменом в

подвижной среде рабочего тела в виде газа (жидкости) посредством работы и теплоты, а также внешней вихревой активности и иных факторов её генерации, обоснованных и доказанных выше в утверждениях и примерах. Следовательно, Теорему о вихреобразовании можно представить обобщающим определением по сути его рабочего процесса.

Теорема. Определение

Удельная энергия вращательного движения газа $\omega_2^2 r_2^2 / 2$ на выходе исследуемого канала тока в процессе преобразования установившегося потенциального течения ($\omega = 0$) в течение вихревое ($\omega \neq 0$) – следствие внутреннего энергообмена газа посредством избытка энтальпии $\Delta i \neq 0$, используемого запаса кинетической энергии $\Delta c^2 / 2 \neq 0$ потенциального потока и располагаемой энергии вращательного движения внешней среды $\omega_1^2 r_1^2 / 2 \neq 0$ определена внешним энергообменом рабочего тела посредством механической работы $L_{\text{вн}} \neq 0$ и теплоты ($Q_{\text{вн}} \neq 0$), включая внутреннюю наведённую вихревую активность аэродинамического типа с последующим переходом на градиенты линейной скорости, угловое вращение ($\omega \neq 0$) частиц естественной и техногенной сред, их моментные поля $M(\omega) \neq 0$, формирующих конечный вихревой продукт $\omega_2^2 r_2^2 / 2 \neq 0$ во всём его разнообразии от вихревой пелены до глобальных циклонов и циркуляций.

Возможна компактная трактовка теоремы о вихреобразовании газовых (жидких) сред Земли.

Силовое и тепловое воздействие на свободно взвешенные среды Земли посредством энергообмена механической работой и теплотой и иными возможными способами сопровождается градиентным разрывом тангенциальной скорости, вращением и деформацией её элементарных частиц, формированием в исследуемом пространстве моментного поля и активацией вихреобразования посредством циркуляции скорости или углового вращения и деформации её частиц.

Предлагаемые теоремы ВО, его определения и определение рабочего процесса вихреобразования, классификация, параметры эффективности генерации вихревого продукта, способы генерации вихревой активности, доказанные математически и предложенные в настоящей теореме – суть нового научного направления, ведущему к вихревому полю Земли, обладающей активным установившимся вращением вокруг Полярной оси NS .

Заключение

Являясь простым и понятным по определению ГОСТ, вихреобразование и его вихревой продукт, описанные основным уравнением сохранения энергии с включённым в его состав известным параметром удельной кинетической энергии вращательного движения, в поле внутреннего и внешнего энергообмена газа представило себя сложным газо-гидродинамическим явлением, требующим особого внимания для установления секретов

физической сущности и рабочего процесса вихревой активности и его вихрей. Эта задача решена частично на базе усилий и знаний молодых учёных РФ, ресурсов современной науки, её численных методов и грамотного выбора граничных условий для формирования алгоритмов задач численных и экспериментальных исследований вихреобразования. Предлагаемое в теореме обобщённое определение вихреобразования в поле его классификации должно быть дополнено частными теоремами дифференциального, градиентного, стокового и интерференционного вихреобразования, а также вихреобразования отклоняющего действия силы Кориолиса.

Библиографический список

- Алексеева Л. М.* Небесные сполохи и земные заботы. М.: Знание, 1985. 160 с.
- Альпиуллер Г. С.* Найти идею. Введение в ТРИЗ-теорию решения изобретательских задач. 4-е изд. М.: Альпина Паблишер, 2011. 402 с.
- Белоцерковский С. М.* Отрывное и безотрывное обтекание тонких крыльев идеальной жидкостью / С. М. Белоцерковский, М. И. Ништ. М.: Наука, 1978. 351 с.
- Даниленко Н. В.* Торнадо. Вестник Иркутского ГТУ. 2004. № 2 (18). Иркутск, Издательство ИрГТУ. С. 64-72.
- Даниленко Н. В.* Рабочий процесс вихреобразования сред Земли / Н. В. Даниленко, А. Г. Киренчев. Вестник московского авиационного института. 2018а. Т. 25. № 3. С. 161-170.
- Даниленко Н. В.* Вихреобразование стоковых течений / Н. В. Даниленко, А. Г. Киренчев. Вестник московского авиационного института. 2018б. Т. 25. № 4. С. 28-36.
- Даниленко Н. В.* Теория вихрей перед воздухозаборниками самолётов при работе газотурбинных двигателей на аэродроме / Н. В. Даниленко, П. М. Кривель, С. В. Пахомов, А. М. Сафарбаков и др. Монография, изд. 2-е, дополненное. Иркутск: ИрГТУ, 2011. 348 с. ISBN 978-5-8038-0685-1.
- Дворак А. В.* Дискретные гидродинамические особенности. Формулы для безразмерных скоростей, потенциалов и их производных. В кн.: Научно-методические материалы по численным методам. М.: Изд-во ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1985, 107 с.
- Евдокимов А. И.* Расчётные и модельные исследования влияния компоновки силовой установки самолёта на вихреобразование / А. И. Евдокимов, А. А. Комов. Международный авиакосмический салон: Сб. докладов международной научно-технической конференции. Жуковский, 2001. С. 85-89.
- Ефремова Т. Ф.* Толковый словарь русского языка. М.: Русский язык, 2000. 1222 с.
- Кушин В. В.* Смерч. – М.: Энергоатомиздат, 1993. 126 с, ISBN 5-283-04085-2.
- Котовский В. Н.* Техническая термодинамика. М.: МГТУ ГА, 2015. 86 с.
- Лойцянский Л. Г.* Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1970. 904 с.
- Наливкин В. Д.* Смерчи. М.: Наука, 1984. 112 с.
- Наливкин Д. В.* Ураганы, бури и смерчи. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 487 с.
- Наука и техника, торнадо [Электронный ресурс] – URL: <https://mirnov.ru/nauka-i-tekhnika/nassha-obrushilis-nevidannye-po-svoei-sile-tornado.html> (дата обращения: 26.07.2022 г.).
- Нечаев Ю. Н.* Теория авиационных двигателей. Часть 1/ Ю. Н. Нечаев, Р. М. Федоров В. Н. Котовский. М.: Наука, 2005. 657 с.
- Ништ М. И.* Аэродинамика боевых летательных аппаратов и гидравлика их систем. М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1994. 570 с.
- Смерч – торнадо [Электронный ресурс] – URL: <https://tainaprirody.ru/atmosfera/smerch-tornado/> (дата обращения: 27.07.2022 г.).
- Тарг С. М.* Краткий курс теоретической механики. М.: Наука, 1974. 416 с.
- Эспи Д. П.* Философия бурь. США, 1840. 552 с.

Торнадо [Электронный ресурс] – URL: <https://rg.ru/2013/05/22/tornado.html/> (дата обращения 26.07.2022 г.).

References

- Alekseeva L. M.* (1985). Heavenly Sparks and Earthly Concerns. Moscow: Znanie, 1985. 160 p. (in Russian)
- Altshuller G. S.* (2011). Find an Idea. Introduction to TRIZ-the theory of inventive problem solving. 4th ed. Moscow: Alpina Publisher, 2011. 402 p. (in Russian)
- Belotserkovsky S. M., Nisht, M. I.* (1978) Tearing and non-tearing flow of thin airfoils with an ideal fluid M.: Nauka, 351 p. (in Russian)
- Danilenko N. V.* (2004). Tornado. *Vestnik (Herald) of the Irkutsk State Technical University*. Irkutsk, Publishing house of Irkutsk State Technical University. 2 (18): 64-72. (in Russian)
- Danilenko N. V., Kirenchev A. G.* (2018a). The working process of vortex formation of the Earth media. *Bulletin of the Moscow Aviation Institute*. T. 25. 3: 161-170. (in Russian)
- Danilenko N. V., Kirenchev A. G.* (2018b). Vortex formation of flow currents. *Bulletin of the Moscow Aviation Institute*. T. 25. 4: 28-36. (in Russian)
- Danilenko N. V., Krivel P. M., Pakhomov S. V., Safarbakov A. M.* (2011). Theory of vortices in front of air intakes of aircraft during the operation of gas turbine engines at the airfield. Monograph, ed. 2nd revised edition. Irkutsk: IrSTU, 348 p. ISBN 978-5-8038-0685-1. (in Russian)
- Dvorak A. V.* (1985). Discrete hydrodynamic features. Formulas for dimensionless velocities, potentials and their derivatives. In book: Scientific and Methodical Materials on Numerical Methods. Moscow: VVIA Publishing House named after Professor N.E. Zhukovsky, 107 p. (in Russian)
- Efremova T. F.* (2000). Explanatory dictionary of Russian language M.: Russian language. 1222 p.
- Espy D. P.* (1840). Philosophy of Storms. USA. 552 p. (in Russian)
- Evdokimov A. I., Komov A. A.* (2001). Calculation and model studies of the effect of aircraft power plant layout on vortex formation. International Aerospace Salon: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference. Zhukovsky. Pp. 85-89. (in Russian)
- Kotovskiy V. N.* (2015). Technical thermodynamics. Moscow: MSTUCA, 86 p. (in Russian)
- Kushin V. V.* (1993). Smerch. Moscow: Energoatomizdat. 126 p. ISBN 5-283-04085-2. (in Russian)
- Loitsiansky L. G.* (1970). Mechanics of fluid and gas. Moscow: Nauka, 904 p. (in Russian)
- Nalivkin D. V.* (1969). Hurricanes, storms and tornadoes. L.: Gidrometeoizdat. 487 p. (in Russian)
- Nalivkin V. D.* (1984). Tornados. Moscow: Nauka, 112 p. (in Russian)
- Nechaev Y. N., Fedorov R. M., Kotovskiy V. N.* (2005). Theory of aircraft engines. Part 1. – Moscow: Nauka, 657 p. (in Russian)
- Nisht M. I.* (1994). Aerodynamics of combat aircraft and hydraulics of their systems – Moscow: AVIA named after Professor N. E. Zhukovsky, 570 p. (in Russian)
- Science and Technology, Tornado [Electronic resource] – URL: <https://mirnov.ru/nauka-i-tekhnika/na-ssha-obrushilis-nevidannye-po-svoei-sile-tornado.html> (accessed 26.07.2022).
- Targ S. M.* (1974). A brief course of theoretical mechanics. Moscow: Nauka, 416 p. (in Russian)
- The tornado [Electronic resource] – URL: <https://tainaprirody.ru/atmosfera/smerch-tornado/> (accessed 27.07.2022). (in Russian)
- Tornado [Electronic resource] – URL: <https://rg.ru/2013/05/22/tornado.html/> (accessed 26.07.2022).