ЭНЕРГЕТИКА

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

Белов Николай Николаевич
канд. пед. наук, учитель физики высшей категории, ЧГПУ им. И.Я. Яковлева,
429000, РФ, г. Чебоксары, улица К. Маркса, 38
E-mail: belovnn1@mail.ru

THEORETICAL BASES OF HYDROENERGETICS

Nikolay Belov
candidate of pedagogical sciences, Top-rank physics teacher,
Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev,
429000, Cheboksary, K. Marksa str., 38

АННОТАЦИЯ

В работе представлена Архимедова сила в дифференциальной форме для жидкостей, газов и рассмотрено движение посторонних частиц в циклонах, смерчах, выработаны динамические параметры вихрей и выявлена их научная значимость.

ABSTRACT

In the article Archimedes' force in the differential form for liquids, gases is presented, and the motion of foreign particles in cyclones, tornadoes is considered, dynamic parameters of vortices are developed, and their scientific significance is identified.

Ключевые слова: вихрь, циклон, смерч, шаровая молния, динамическое давление, жесткость вихря, динамическая составляющая Архимедовой силы, дифференциал давления, дифференциал и градиент Архимедовой силы, вытеснение, методология.

Keywords: vortex, cyclone, tornado, ball lighting, dynamic pressure, vortex hardness, dynamic component of Archimedes' force, differential pressure, differential and gradient of Archimedes' force, displacement, methodology.

Введение

Рассмотрение этой проблемы мы считаем актуальной для разработки совершенно новой энергоустановки с возобновляемым видом энергии – выделяемого в искусственных вихрях воздуха с насыщенным паром при фазовом переходе в жидкость. Важнейшая основа изложена нами в [2].

Теперь выведем формулу расчета Архимедовой силы, в ускоренно движущихся потоках жидкости или газа, например, в атмосферных вихрях и опишем движения посторонних частиц в них.

В гидростатике общеизвестна формула для расчета модуля Архимедовой силы, численно равной силе тяжести покоящейся жидкости или газа плотностью ρ вытесненных телом объема V. С учетом того, что эта сила направлена противоположно ускорению свободного падения **g**, запишем его в векторной форме: $\mathbf{F}_A = -\rho V\mathbf{g}$ (1)

В работе [1] рассчитана Архимедова сила, действующая на тело, целиком погружено в закрытый сосуд с водой, движущийся с ускорением **a** вертикально:

$$\mathbf{F}_A = \rho V(\mathbf{a} - \mathbf{g}) \quad (2)$$

Раскроем скобки и приходим к выводу, что слагаемая – ρV**g** является гидростатической составляющей, а другая составляющая сонаправлена точно вдоль вектора ускорения **a** частиц, её можно назвать динамической составляющей Архимедовой силы $\mathbf{F}_{АД} = \rho V\mathbf{a}$ **(3**)

Частные случаи её проявления рассмотрены нами в работе [1, с. 39] и проиллюстрированы на опытах с пузырьком воздуха в закрытой трубке с водой. Если трубку резко перевернуть и в момент его подъема пузырька вверх резко двигать ускоренно верх, то пузырек поднимается относительно воды в трубке быстрее; при резком дергании вниз – пузырек вытесняется вниз(!); а если подбросить или уронить, то он перестает перемещаться относительно трубки, что и следует из формулы (2) при **a** = **g** Архимедова сила при свободном падении – ноль. При обращении этой трубки с водой в горизонтальной плоскости проявляется динамическая составляющая Архимедовой силы, направленная вдоль центростремительного

Библиографическое описание: Белов Н.Н. Теоретические основы гидроэнергетики // Universum: Технические науки : электрон. научн. журн. 2017. № 5(38) . URL: http://7universum.com/ru/tech/archive/item/4854

ускорения **a,** поэтому пузырек воздуха вытесняется к оси.

Результирующая этих составляющих в вихрях направлена к оси под углом α к горизонту вверх – вдоль вектора **a** – **g** , а тангенс этого угла равен отношению модулей упомянутых ускорений: tg α = g/a.

При равенстве по модулю g=a угол α =45^0. Рассчитаем, при какой скорости частиц вихря радиусом 1 м это будет. Из равенства a = υ^2 /r =g находим υ= $\sqrt{gr}$ = 3,14 м/с. Это небольшая скорость. Теперь понятно, почему соринки даже в небольших атмосферных вихрях и чаинки на дне чашки при раскрутке воды «перекатываются» ближе к центру.

Если частица разогналась потоком до скорости, равной скорости окружающих её частиц, то сила сопротивления среды равна нулю.

Модуль динамической составляющей Архимедовой силы [2, рис.1] равен разности $f_2 - f_1 = (p_2 - p_1)S$; при малом dr разность давлений $p_2 - p_1$ можно обозначить через dp и понимать как дифференциал давления по радиусу, а площадь S можно принять за квадрат дифференциала радиуса dr^2, тогда для частицы объемом $dv=dr^3$ находящейся в вихре жидкости или газа можно записать дифференциал динамической составляющей Архимедовой силы так: $d\mathbf{F}_{АД} = dp\, dr^2$ (3)

Т.к. линейная скорость υ равна произведению угловой скорости ω на радиус r и согласно формулы (7) из [2, с.8] давление в радиальном направлении вычисляется по формуле: $p = po \exp(M \omega^2 r^2 /2RT)$, то дифференциал давления (взятая как дифференциал сложной функции) выражается так: $dp = M^2 \omega^4 r^3 dr/2 (RT)^2 p_0 \exp(M \omega^2 r^2 /2RT)$ (4)

Для краткой записи полученной формулы введем понятие «жёсткость B вихря» – отношение кинетической энергии одного моля газаа к доле его внутренней энергии, приходящийся на две степени свободы или отношение механческой энергии обращения одной молекулы газа к доле энергии ее теплового движения, приходящейся на две степени свободы см. [2, с.9] . Т.е. $B = M \omega^2 r^2 /2 RT = M \upsilon^2 /2 RT = 0{,}5\, m_0 \upsilon^2 / kT$ (5).

С учетом того, что $p = p_0 e^B$, можно записать кратко:

$$dp = p B^2 dr/ r \qquad (6)$$

Дифференциал Архимедовой силы в аэродинамическом вихре на частицу объемом dr^3 имеет вид:

$$dF_{АД} = p B^2 dr^3 / r \qquad (7)$$

Обе части этого выражения разделим на дифференциал dr радиуса вихря, обозначив отношение $dF_{АД} / dr = \text{grad}_r dF_A$ через оператор - «градиент Архимедовой силы по радиусу», то получим $\text{grad}_r dF_{АД} = p B^2 dr^2 / r$ (8)

Из формул (6), (7) и (8) видно, что дифференциал давления, центростремительной составляющей Архимедовой силы и её градиент по радиусу в газовом вихре пропорционален давлению газа, квадрату жесткости вихря и обратно пропорционален радиусу вихря. Выясним смысл поученных величин для смерча радиусом 100м, для каждого кубометра граничной области при B =1 и при B = 2. В первом случае расчет по формуле (7) дает: $dF_{АД}$ =1000 Н. Во втором случае получим значение 4000 Н ! Теперь понятно, почему «жесткие вихри» - смерчи обладают свойством втягивать вовнутрь даже массивные тела и тела больших объёмов.

Для выяснения, характера движения посторонних частиц в вихре запишем второй закон Ньютона для частицы массой $\rho_T dr^3$, получившей ускорение, a = υ^2 / r . Тогда из равенства $dF_{АД} = \rho_T dr^3 \upsilon^2 / r = p B^2 dr^3 / r_0$ после замены p = ρRT/M и B=M υ^2 /2 RT после сокращения обеих частей на одинаковые сомножители получим:

$$\rho_T = \rho B/2 \qquad (9)$$

При этом условии тело, более плотное, чем среда будет «плавать» в слое вихря по поверхности цилиндра, выделенного нами; при B>2 ρ_T/ρ тело вытесняется к центральной области до тех пор пока не попадет а слой «плавания», где градиент Архимедовой силы меньше; при B<2 ρ_T/ρ тело будет «катиться» внутри смерча по его «внутренней цилиндрической» поверхности.

Рассчитаем, при какой скорости «приграничного» потока смерча его жесткость B=1. Из равенства $M \omega^2 r^2 = 2 RT = M \upsilon^2$ находим

υ = $\sqrt{2RT/M}$, а при температуре T=300K скорость частиц υ = 414м/с.

Из того же равенства можно выразить температуру T шаровой молнии [2]. При торможении частиц, имеющих скорость υ=1400м/с тонкий граничный слой шаровой молнии, разогрет до температуры T = 3400K.

Считаем перспективным производить классификацию вихрей по нашим упомянутым параметрам: видимый диаметр D; максимальная скорость υ обращения частиц в граничной области; аэродинмическая жесткость B; степень разрежения центральной области $p/p_0 = \rho/\rho_0 = T/T_0 = \exp B$ и дифференциал динамической составляющей Архимедовой силы $dF_{АД}$, а для шаровых молний – абсолютная температура T поверхности.

Рисунок 1. Смерч с ливнем в центральной области

О смерче [3], представленном на рисунке 1, следует отметить, что в его центральной области, где идет дождь давление ниже атмосферного и везде одинаково и равно давлению воздуха с насыщенным паром. В эту область вытесняются более теплые и менее плотные клубы влажного воздуха под действием динамической составляющей Архимедовой силы. В центральной области они расширяясь, охлаждаются, становятся пересыщенными и часть влаги выпадает.

ВЫВОД: Содержание нашей работы считаем полезным в решении проблем аэродинамики, вихревой динамики сред и в плане современной методологии физики.

Список литературы:

1. Белов Н.Н. Задания для изучения центробежных механизмов в курсе углубленного уровня// Физика в школе, 1990. №4. С. 38 -39.
2. Белов Н.Н. Функция распределения давления в атмосферных вихрях//Universum. Научное обозрение. Научный журнал. № 1(1). – М., Изд. «МЦНО», 2017.
3. Смерчи [Электронный ресурс]. – URL: http://review-planet.ru/wp-content/uploads/2013/05/221.jpg (дата обращения 05.10.2017).