Безразмерные инварианты тороидальных вихрей

У. Юсупалиев, С.А. Шутеев, В.Г. Еленский, П.У. Юсупалиев

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,Москва,Россия, nesu@phys.msu.ru

К тороидальным вихрям (ТВ) относятся плазменный ТВ в воздухе и турбулентные коль­цевые вихри в воздухе/воде. Несмотря на давнюю историю исследования таких вихрей, до сих пор не определены их безразмерные инварианты. Важность таких инвариантов для силь­ноточного разряда в газах показана в работе [1]: с их помощью удалось свести дифференци­альные уравнения***в частных производных*** разряда к ***обыкновенным*** дифференциальным уравнениям. Цель данного сообщения состоит в установлении таких инвариантов для ТВ.

Для этого использованы уравнения непрерывности, Навье-Стокса и состояния, решения которых искались в виде: , , , (1)

где *Т*, *ρ* и  – температура, плотность и гидродинамическая скорость плазмы/газа, *ξ=r****/****RТВ*(*t*) – автомодельная переменная, =*dRТВ*(*t*)/*dt*, *RТВ*(*t*) – радиус вихря. После подстановки (1) в указанные уравнения и приведения их к безразмерному виду были получены уравнения, содержащие безразмерные комплексы *πТВ1*=Re (число Рейнольдса) и *πТВ2*=. По­казатели подобия этих комплексов относительно преобразования =*s∙r,=s∙t* (2)

равны нулю (α[πТВ1]=α[πТВ2]=0), и тогда, согласно теории подобия и размерности [2], назван­ные комплексы представляют собой инварианты: πТВ1=CTB1, πТВ2=CTB2 (где CTB1 и CTB2 – константы). Теперь и указанные уравнения являются инвариантными относительно преобра­зования (1). Из выражения инварианта πТВ2 получено дифференциальное уравнение для *RТВ*(*t*): =CТВ2 с начальными условиями *RТВ*(0)=*RТВ0*, (d*RТВ*/d*t*)t=0=*Vin*r, решение ко­торого при CTB2≠1 имеет следующий вид: *RТВ* (*t*)= *RТВ0*. (3)

Для нахождения константы CTB2 установлены следующие инварианты ТВ относительно преобразования (2): πТВ3=ΔRTB(t)/Δz(t)=*СТВ3=αТВ*, πТВ4=СТВ4=СZTBи πТВ5=EROT(t)/EK(t)=СТВ5 **(**где ΔRTB(t) и Δz(t) – приращения радиуса ТВ и пройденного им до распада пути *z*(t), СZTB – коэффициент лобового сопротивления вихря, EROT(t) и EK(t) – энергия вращения ТВ относительно оси тора и кинетическая энергия его поступательного движения**)**. Используя СТВ3 и СТВ4, из уравнения движения определено значение инварианта πТВ2: СТВ2= –3СZTB*ρ∝* /(2*αТВρср*+3) (*ρ∞* и *ρср* − плотность окружающей среды и средняя плотность плазмы/газа в вихре). Из (3) и экспериментально установленной зависимости между *RTB*(*t*) и *z*(*t)* – *RTB*(*t*)=*RTB0* + *αТВ z*(*t*) можно определить закон движения центра масс ТВ (*RTB0* и *αТВ* – начальный радиус и угол расширения радиуса вихря):

 **.** (4)

Начальная скорость поступательного движения вихря VTB0, величины RTB0, αTB и ρср в (4) определяются из опыта. Сравнение (4) с опытными данными позволило найти величину коэффициента СZТВ.

Литература

1. Юсупалиев У. // Краткие сообщения по физике. 2012. № 5. С.3-12.
2. Рухадзе А.А., Соболев Н.Н., Соковиков В.В. // УФН. 1991. Т.161. № 9. С. 195-199.