роль электрического поля грозового облака в развитии воронки торнадо

С.А. Маслов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, механико-математический факультет, г. Москва, Россия, sergm90@mail.ru

Исследовано влияние электрического поля под грозовым облаком на движение формирующейся заряженной ионизированной воронки торнадо (смерча). Показано, что электрическое поле может обеспечивать как опускание воронки к земной поверхности, так и ее «втягивание» в облако [1]. Поле под облаком качественно аппроксимируется формулой

  (1)

где Е0 ~ 100 В/м — поле вдали от облака, N = const, k = 2 или 3,  r — расстояние до оси воронки, L — характерный масштаб изменения поля (порядка радиуса облака), β ≤ 1 — безразмерный параметр, зависящий от зарядовой структуры облака.

Среда полагается несжимаемой, движение – осесимметричным. Электрическое поле воронки, размеры которой малы в сравнении с облаком, не учитывается. Движение среды описывается уравнением Навье — Стокса с учетом электрической силы. Считается, что электрическое поле (1) под облаком и вязкость среды вносят малую поправку **v**(r,z,t) в поле скоростей **u**(r,z,t)внутри воронки, которое в начальный момент времени t = 0 представляет собой вихрь Рэнкина [2]. В этом случае **u**(r,z,t) удовлетворяет выражениям

  (2)

где θ(x) — функция Хевисайда, а(t) = a(0) + a1(t) — радиус области твердотельного вращения с угловой скоростью ω(t) = ω(0) + ω1(t), d = d(0) + d1(t). Здесь a1(t), ω1(t), d1(t) — поправки
к a(0), ω(0), d(0). Значение d(0) = 1 соответствует классическому вихрю Рэнкина, d(0) > 1 — модифицированному. Кроме того, на расстояниях порядка размера воронки поле **Е** из (1) меняется мало, и в линейном приближении .

После линеаризации уравнения Навье — Стокса при a(t)=a(0) c учетом (2) получаем, что радиальная и азимутальная скорость в первом приближении не меняются, а вертикальная зависит от времени как , где ρе — зарядовая плотность воронки. Если ρе = const, то при ρеβ < 0 воронка опускается к Земле, при ρеβ > 0 «втягивается» в облако. При ρе ≠ const электрическую силу можно найти путем интегрирования ускорения воронки  по ее объему; форма воронки (при d(0) = 1) задается выражениями [3]

 

где R — радиус воронки в ее основании. При a(t) ≠ const вязкость среды играет роль не только в первом, но и в нулевом приближении по a1(t)/a(0), ω1(t)/ω(0) и d1(t)/d(0) (этот случай выходит за рамки исследования).

Автор благодарит В.Л. Натяганова за постановку задачи и полезные обсуждения.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (гос. контракт №14.577.21.0109, УИ проекта RFMEFI57714X0109).

Литература

1. Наливкин Д.В. Ураганы, бури и смерчи. Л.: Наука, 1969. 487 с.
2. Кистович А.В., Чашечкин Ю.Д. Вихревые и спиральные структуры в идеальной жидкости. М: Институт проблем механики РАН, 1998. 53 с. (Препринт №627).
3. Ламб Г. Гидродинамика. М.; Л.: ГИТТЛ, 1947. 929 с.