

НЯКОИ ДИНАМИЧНИ ЕФЕКТИ, СВЪРЗАНИ С ТЕРМИЧНИ НЕЕДНОРОДНОСТИ В ГРАНИЧНИЯ СЛОЙ

МИЛЕН ЦАНКОВ

Катедра „Метеорология и геофизика“

Милен Цанков. НЯКОИ ДИНАМИЧНИ ЕФЕКТИ, СВЪРЗАНИ С ТЕРМИЧНИ НЕЕДНОРОДНОСТИ В ГРАНИЧНИЯ СЛОЙ

Въз основа на подход, развит в [1–3], е изследвана индуцираната от съвместното влияние на триенето и термичните хоризонтални нееднородности вертикална скорост. Задачата е решена при различни ъгли на обтичане на аналитично зададено термично препятствие, като е разграничен приносът на линейните и нелинейните фактори, и е коментирана значимостта на получените ефекти.

Milen Tsankov. SOME DYNAMICAL EFFECTS CONNECTED WITH THERMAL NONHOMOGENEITIES IN THE BOUNDARY LAYER

On the basis of approach developed in [1–3] it is explored the vertical velocity induced by the joint influence of the friction and the thermal nonhomogeneities. The problem is solved at different angles of flowing of the analytically given thermal obstacle as it is distinguished the contribution of the linear and nonlinear factors and it is commented the significance of the obtained results.

Keywords: thermal nonhomogeneities, linear and nonlinear effect, flowing regimes, induced vertical velocities

PACS number: 92.10.Lq

1. УВОД

За пресмятане на индуцираната от триенето и хоризонталните термични нееднородности вертикална скорост w_h на горната граница на планетарния граничен слой (ПГС) се използва формулата [4]

$$w_h = a_1 (\vec{\nabla} \delta \theta \cdot \vec{c}_{g0}) + b_1 (\vec{\nabla} \delta \theta \times \vec{c}_{g0})_3 - d_1 G_0^2 \nabla^2 \delta \theta + c \Omega_g, \quad (1)$$

където $\vec{c}_{g0} = (u_{g0}, v_{g0})$ и G_0 са вектор и модул на приземния геострофен вятър, $c = \sqrt{2k/f}$, k – осреднен по височината коефициент на вертикален турбулентен обмен, $\Omega_g = \frac{\partial v_{g0}}{\partial x} - \frac{\partial u_{g0}}{\partial y}$ – геострофен вихър, a_1, b_1, d_1 – тегловни коефициенти, зависещи от c . Първите два члена в (1) описват съответно напречно и надлъжно обтичане на $\delta \theta(x, y)$ -топографията (линейно приближение), третият е свързан с нейния лапласиан (нелинейно приближение). Формула (1) (при пренебрегване на члена $c \Omega_g$) може да бъде представена в следния по-удобен вид:

$$w_h = a_1 G_0 \nabla \delta \theta F(\varphi) - d_1 G_0^2 \nabla^2 \delta \theta, \quad (2)$$

където φ е ъгълът между геострофния вятър и градиента на $\delta \theta(x, y)$ -топографията (положителен при нарастване на $\delta \theta$ стойностите). Тегловната функция $F(\varphi)$ има вида

$$F(\varphi) = \cos \varphi + \frac{b_1}{a_1} \sin \varphi. \quad (3)$$

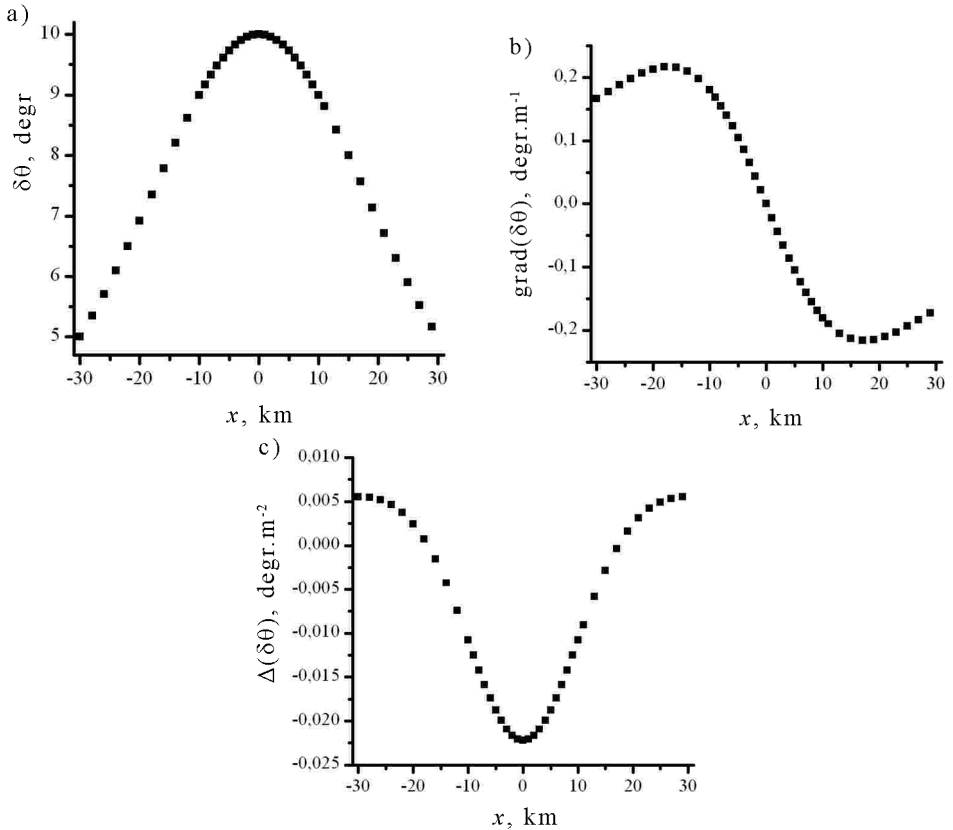
Видът на тегловните коефициенти a_1, b_1, d_1 в най-общ вид е определен в [1,2] и на тази основа са получени типични средни стойности при разглеждания в синоптичен мащаб. Тук ще използваме модифицирани техни стойности в зависимост от по-малките мащаби на разглежданата от нас задача. Целта на работата е да се пресметнат динамичните ефекти, предизвикани от термичните нееднородности в ПГС, в линейно и в нелинейно приближение и се разграничи техният тегловен принос във формирането на индуцираните вертикални скорости.

2. ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА И АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Ще зададем формата на хоризонталната термична нееднородност в ПГС чрез следното аналитично равенство:

$$\delta\theta(x) = \frac{\delta\theta_{\max} b^2}{b^2 + x^2}. \quad (4)$$

Тази формула е много удобна за нашите цели, тъй като чрез нея могат да бъдат реалистично апроксимирани термични нееднородности (петна), срещащи се в природата. На фиг. 1 са представени основните сечения, характеризиращи термичното препятствие (4): контурът на препятствието $\delta\theta(x)$, $\text{grad}(\delta\theta(x))$ и лапласианът $\Delta\delta\theta(x)$, характеризиращ неговата форма.



Фиг. 1. Основни сечения, характеризиращи структурата на термичното препятствие: а) $\delta\theta(x)$, б) $\text{grad}(\delta\theta(x))$ и в) $\Delta\delta\theta(x)$

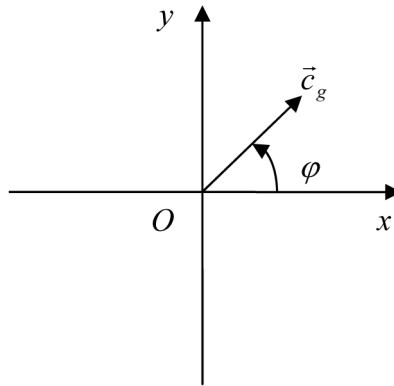
Поставяйки (4) в (2), намираме следния израз за индуцираната от термичните нееднородности вертикална скорост на горната граница на ПГС;

$$w_h = -\frac{2a_1hb^2G_0F_{\delta\theta}x}{(b^2+x^2)^2} - \frac{2d_1hb^2G_0^2(3x^2-b^2)}{(b^2+x^2)^3}, \quad (5)$$

$$w_{h\text{linear}} = -\frac{2a_1hb^2G_0F_{\delta\theta}x}{(b^2+x^2)^2}, \quad (6)$$

$$w_{h\text{nonlin}} = -\frac{2d_1hb^2G_0^2(3x^2-b^2)}{(b^2+x^2)^3}, \quad (7)$$

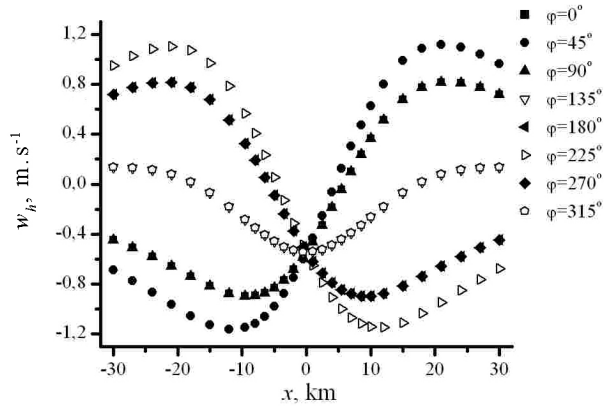
където (5) е тоталната вертикална скорост, (6) – линейната компонента, а (7) – нелинейната компонента.



Фиг. 2. Ъгъл φ на обтичане на термичното препятствие спрямо оста Ox , по протежение на което е разположено то

Въз основа на формули (5)–(7) е пресметната вертикалната скорост w_h в зависимост от ъгъла на обтичане (вж. фиг. 2) на термичното препятствие и е разграничен приносът на линейните (6) и нелинейните (7) членове във формиране на тоталната вертикална скорост – фиг. 3 и 4. Разгледаното термично препятствие се характеризира със следните параметри: височина $\delta\theta_{\max} = 10^\circ\text{C}$ (загрято топлинно петно), полуширина по Ox $b = 30\text{ km}$. Тези параметри са характерни за локални термични нееднородности, възникващи в естествени условия най-често в резултат на сравнително резки изменения на албедото на земната повърхност. За тегловните коефициенти са използвани стойности, характерни за локалния мащаб на задачата – $a_1 = -0,5\text{ m/degree}$, $b_1 = -0,5\text{ m/degree}$, $d_1 = -0,5\text{ m/degree}$, а за модула на приземния геострофен вятър – $G_0 = 7\text{ ms}^{-1}$. Интересно е

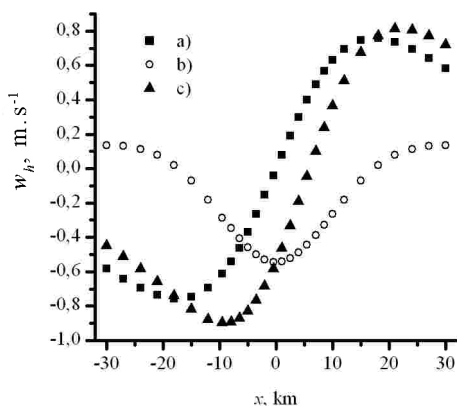
да се отбележи, че линейната компонента на вертикалната скорост при надтичане на препятствието (в областта $x < 0$) е отрицателна за ъгли на обтичане $\varphi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$, което ще поражда низходящи вертикални скорости, а при $x > 0$ – възходящи такива. С изменението на ъгъла на обтичане линейната компонента плавно се изменя, като става положителна в наветрената зона на препятствието и отрицателна в подветрената за $\varphi = 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ$.



Фиг. 3. Зависимост на вертикалната скорост w_h в линейно приближение (6) от ъгъла на обтичане φ

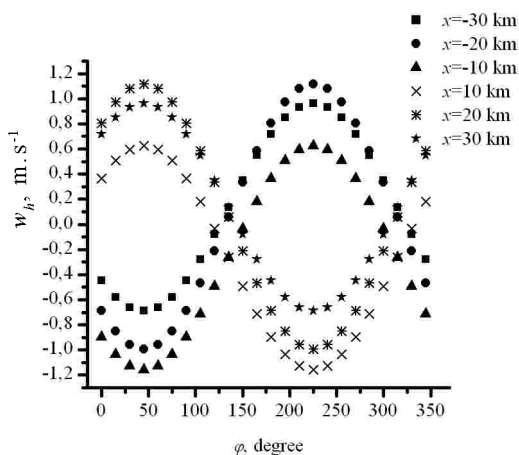
Зависимостта на линейната компонента от ъгъла на обтичане е съществена, докато нелинейният член (7) не зависи от ъгъла на обтичане поради инвариантността на лапласиана относно въртене. Съпоставката на отделните компоненти (6), (7) и тоталната вертикална скорост (5) на фиг. 4 позволява да се отдели приносът на отделните компоненти. Основен принос има линейната компонента, докато нелинейната компонента усилва или отслабва допълнително тоталната скорост, като и измества разположението на екстремумите ѝ, в зависимост от ъгъла на обтичане. При $\varphi = 0^\circ$ имаме отслабване в предната част на термичното препятствие и изместване на минимума на тоталната скорост към центъра му, а също и усилване и отдалечаване на максимума в неговия край.

На фиг. 5 е изследвана зависимостта на тоталната скорост при фиксирано местоположение спрямо препятствието от ъгъла на обтичане. От фигурата се вижда, че равни по големина вертикални скорости могат да се получат в различни точки спрямо препятствието и определени ъгли на обтичане. Равни скорост имаме при симетрично разположени спрямо



Фиг. 4. Зависимост на отделните компоненти на индуцираната вертикална скорост при фиксиран ъгъл на обтичане $\varphi = 0^\circ$: а) линейна (6), б) нелинейна (7), в) тотална (5)

центъра на препятствието точки и противоположни посоки на обтичане. Освен това местата на зоните с екстремуми на тоталната вертикална скорост не са разположени симетрично спрямо центъра на препятствието.



Фиг. 5. Зависимост на тоталната индуцирана вертикална скорост от ъгъла на обтичане при различни фиксирани стойности на x преди ($x = -30$ km, -20 km, -10 km) и след центъра ($x = 10$ km, 20 km, 30 km) на препятствието

Това се дължи отново на нелинейния член и неговото наслагване върху линейната компонента.

От изложените дотук резултати може да се направи заключението, че основен дял във формирането на тоталната вертикална скорост има линейната компонента, докато нелинейната компонента, макар и малка по големина, качествено изменя конфигурацията на разположението и големината на екстремумите на индуцираната вертикална скорост.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разгледаната задача макар и частен случай на обтичане на термично препятствие ни дава представа за индуцираните вертикални скорости при обтичане на естествени хоризонтални термични нееднородности. Получените резултати за посоката и големината на верикалните скорости допълват и разширяват приложението на методиката, развита в [1–3], и изследваните чрез нея обтичания на орографски и термични нееднородности в [5]. Добиването на по-пълна картина за съвместното влияние на тези два фактора и възможността за тяхното отчитане чрез индуцираната вертикална скорост ще подобри числените модели за прогноза за времето и представлява една бъдеща задача.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сираков, Е. IX междунар. конф. по метеорологии Карпат, 1979, С., 281.
2. Syrakov, E. Zb. meteorol. I hidr. rad № 12, 1985, 200.
3. Syrakov, E, 1985. On the large-scale interaction between the atmosphere and the orographic-thermal inhomogeneities of the earth's surface Zb. meteorol. I hidr. rad № 12.
4. Syrakov, E., N. Chervenkov, 2001. Some aspects on the joint effects of topography, thermal horizontal nonhomogeneities and surface friction on the synoptic vertical motions on the top of pbl I. Method and general analysis, Bulg. Jour. of Met. and Hydr, 12, 97–110.
5. Syrakov, E., N. Chervenkov, 2002. Some aspects on the joint effect of topography, thermal horizontal nonhomogeneities and surface friction on the synoptic vertical motions on the top of PBL II. Effects assessment for chosen cases, Bulg. Jour. of Met. and Hydr, 13, 5–15.

Постъпила декември 2007

Милен Цанков
Софийски университет „Св. Климент Охридски“
Физически факултет
Катедра „Метеорология и геофизика“
Бул. „Джеймс Баучър“ 5
1164 София, България
E-mail: medosan@abv.bg