

АСИМИЛАЦИОННИ ЕКСПЕРИМЕНТИ С МОДЕЛ WRF НА ОБСТАНОВКИ С МЪГЛА НА ЛЕТИЩЕ СОФИЯ

ИЛИАН МАНАФОВ¹, ГЕРГАНА ГЕРОВА²

¹ Държавно предприятие „Ръководство на въздушното движение“, София

² Катедра „Метеорология и геофизика“

Илиан Манафов, Гергана Герова. АСИМИЛАЦИОННИ ЕКСПЕРИМЕНТИ С МОДЕЛ WRF НА ОБСТАНОВКИ С МЪГЛА НА ЛЕТИЩЕ СОФИЯ

В тази работа е представен резултатът от числени експерименти с асимилация на приземни данни в модел WRF по време на мъгла в района на летище София. Асимилацията на наблюденията подобрява моделната приземна температура средно с 0,7 °C. За относителната влажност това подобрение варира между 1 и 9 %. Получените резултати показват, че асимилацията на приземни наблюдения подобрява моделните температури и относителна влажност, но недостатъчно за нуждите на оперативната работа.

Ilian Manafov, Gergana Guerova. ASSIMILATION EXPERIMENTS WITH WRF MODEL OF FOG CASES AT SOFIA AIRPORT

Assimilation of surface and upper air observations in the Numerical Weather Prediction WRF model during fog at Sofia Airport are presented in this study. The assimilation has positive impact on surface air temperature which is improved by 0.7 °C. For the relative humidity the improvement is in the range 1 to 9 %. It can be concluded that the assimilation of observations improves both the model surface temperature and specific humidity but this is not sufficient for the operational forecast.

Keywords: WRF model, fog, Sofia Airport

PACS numbers: 92.60.-E

1. УВОД

С развитието на числените модели за прогноза на времето се появява и необходимост от ефективно използване на наблюденията за по-точно описание на началното състояние на атмосферата. През 1958 г. за пръв път е предложен вариационният анализ, който обединява обективния анализ на наблюденията и съгласуването на полетата в числените модели за прогноза на времето [1]. Вариационният метод се основава на вариационния принцип и предполага връзки между елементите, които описват състоянието на атмосферата. Вариационният анализ е широко използван метод в съвременните числени модели за прогноза на времето. Той се прилага в редица локални числени модели, като ALADIN, HIRLAM, AROME и други.

Според финалния доклад на проекта COST722 “Short range forecasting of fog, visibility and low clouds” [6] локалните числени модели, използвани в Европа за прогноза на мъгла, работят с вариационни асимилационни схеми. Моделът DMI-HIRLAM използва 3DVAR. Вариационна, но 4DVAR, е схемата за асимилация на модела APERGE, като резолюцията на използваните наблюдения от 45 km е отчетената като недостатъчно добра. Моделът FOG-NMM-BERLIN използва инициализация от модела GFS. Установено е, че за случаите на мъгла тази инициализация е недостатъчно точна, като отклонението на температурата спрямо реалните условия достига 5 °C. Важността на инициализацията за прогнозата на мъгла е отчетена във всички числени експерименти от проекта. Съответно е оценено и значението на използването на асимилация като начин за подобрене на инициализацията на моделите.

Досегашната ни работа включваше стартиране и настройка на WRF (Weather Research and Forecasting) модела за числена прогноза на времето с цел моделиране условията за образуване на мъгла на летище София. С получените настройки 18 случая на мъгла бяха моделирани и получените резултати бяха класифицирани в четири групи, съобразно представянето на модела по отношение причината за грешката на прогнозата [2].

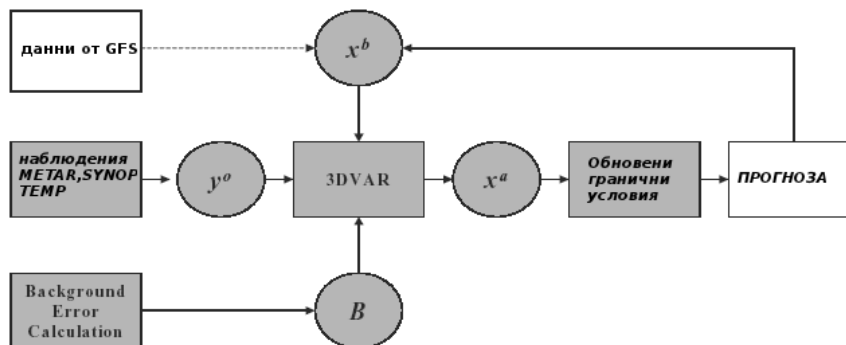
Цел на това изследване е да се провери дали чрез асимилация на наблюдения е възможно да се подобри прогнозираната от модела приземна температура за избраните синоптични обстановки с мъгла в района на летището. За целта е използван асимилационният модул на численият модел WRF–WRFDA, описан в раздел 2. Резултатите от асимилационните експерименти са представени в раздел 3, а обобщение и насока за бъдеща работа в раздел 4.

2. ВАРИАЦИОНЕН МЕТОД ЗА АСИМИЛАЦИЯ НА НАБЛЮДЕНИЯ В МОДЕЛ WRF

За асимилация на наблюденията в числения модел е използван модулът WRF Data Assimilation System (WRFDA, [3]). WRFDA дава възможност за тримерен и четимерен вариационен анализ на наблюдения. В настоящото изследване е използван тримерен вариационен метод за асимилация на наблюдения. Тримерният вариационен метод (3DVar, [4, 5]) търси решение x_a , което минимизира кост-функция J , дефинирана като разстоянието между полето и първото приближение x_b (в нашия случай входни данни от глобалния модел GFS) и разликата с наблюденията y_o .

$$2J(x) = (x - x_b)^T B^{-1}(x - x_b) + [y_o - H(x)]^T R^{-1}[y_o - H(x)]$$

На фиг. 1 е показана схема на основните модули и връзките между тях на WRFDA. Използвани са наземни наблюдения от летища (METAR), наземна синоптична мрежа (SYNOP) и аерологичен сондаж (TEMP), преобразувани във формат BUFR и предоставяни от NCEP.



Фиг. 1. 3DVar схема за асимилация на наблюдения в числен модел WRF

Началните и граничните данни са използвани от глобален числен модел GFS (Global Forecast System) с хоризонтална резолюция $0,5^\circ$. Избрани са две области за числени експерименти: 1) с хоризонтална резолюция 12 km и обхващаща територията на Балканския полуостров; 2) с резолюция 4 km за територията на България. Числените експерименти са направени с 44 вертикални нива.

Резултатите от числените експерименти са сравнени с едночасови наблюдения на температурата и специфичната влажност, измерени с

автоматизирана метеорологична наблюдателна система на фирма Вайсала, разположена на летище София.

3. АСИМИЛАЦИОННИ ЕКСПЕРИМЕНТИ НА СО С МЪГЛА НА ЛЕТИЩЕ СОФИЯ

В предишно изследване [3] числени експерименти на 18 синоптични обстановки (СО) с мъгла на летище София бяха проведени и класифицирани в 4 типа съобразно грешката в моделната прогноза. СО от първи тип (I) е локална за района на летището и се характеризира със сутрешна инверсия, която бързо се разрушава след изгрев слънце. Преобладаващата причина за грешка в числената прогноза е хоризонталната резолюция, заради която не се отчита допълнителното охлаждане по орографски причини. СО от втори тип (II) е при антициклонно, стабилно време с трайни инверсии, които не се възпроизвеждат в началните условия от глобалния модел GFS и водят до грешка. Към СО от трети тип (III) спадат случаите, в които грешките са поради проблеми в динамиката – при преминаване на атмосферен фронт например или от параметризиациите на модела. Четвъртият тип (IV) СО са тези, за които числената прогноза е успешна. Резултатите от тези числени експерименти ще наричаме референтни числени експерименти (РЧЕ).

Числени експерименти с асимилация на наблюдения ще наричаме асимилационни числени експерименти (АЧЕ). В табл. 1 са представени подобренията на температурата и относителната влажност за всички СО в резултат на АЧЕ. За всички СО се наблюдава подобрение на температурата между 0,3 и 2,4 °C (колона 3 на табл. 1), както и подобрение на относителната влажност между 1 и 9 % (колона 4 на табл.1).

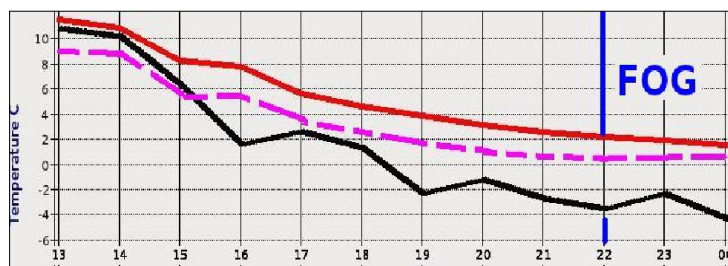
Таблица 1. Подобрения на температурата и относителната влажност за всички СО в резултат на АЧЕ

ДАТА	Тип СО	Температура T [°C]	Оносителна влажност RH [%]
01.12.2011	I	1,7	6,6
03.12.2011	I	2	1,2
11.12.2011	IV	0,6	9
12.12.2011	II	1,6	2
12.01.2012	III	4	1,2
23.01.2012	III	0,3	2,1
31.01.2012	III	0,7	4,1
19.02.2012	IV	2,4	5
20.02.2012	IV	1,4	3,1

06.11.2013	III	0,5	5,2
16.11.2013	I	1,4	3,8
21.11.2013	I	0,8	3,3
14.12.2013	I	0,7	4,7
19.12.2013	III	1,2	3,9
21.12.2013	I	1,4	4,2
01.01.2014	I	0,3	3,7
04.01.2014	II	1,1	3,6
16.01.2014	I	1,5	6,2

3.1. АЧЕ НА ТИП I СИНОПТИЧНИ ОБСТАНОВКИ С МЪГЛА

При обстановки от тип I – локални инверсии и недостатъчно добра резолюция, подобрението в прогнозата на приземната температура е $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Това е най-често срещаната обстановка. На фиг. 2 е показан случай от 3.12.2011 г. Ходът на моделната прогноза в АЧЕ (прекъсната линия) е поблизък до реалния (черно), сравнен с прогнозата от РЧЕ (непрекъсната линия).

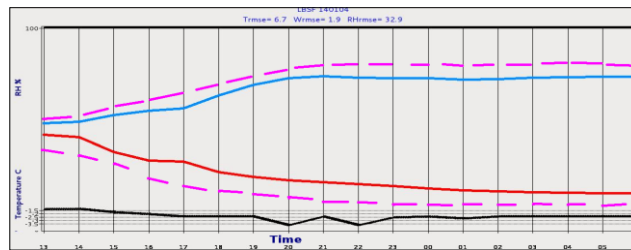


Фиг. 2. Наблюдавана приземна температура (черна линия), РЧЕ (непрекъсната линия) и АЧЕ (прекъсната линия) на 3.12.2011 г.

3.2. АЧЕ НА ТИП II СИНОПТИЧНИ ОБСТАНОВКИ С МЪГЛА

При обстановки от тип II – грешни начални условия, подобрението в следствие на прилагане на асимилация е най-голямо. Тези обстановки са най-рядко срещаните, но при тях се наблюдават най-големи стойности на грешката в прогнозата. Прогнозата на температурата в момента на падане на мъглата се подобрява с $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Прогнозата на относителната влажност съответно е по-точна с 4 %. Това значително подобрение обаче в случая е недостатъчно, защото използваните данни са с груба хоризонтална резолюция (40–60 km) и асимилирането им не успява да поправи голямата

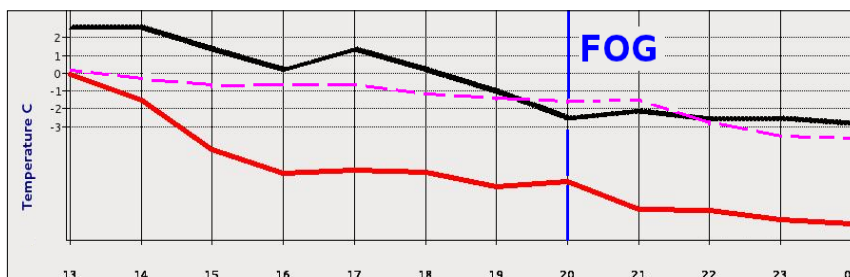
грешка в данните от GFS. На фиг. 3 е показан случай от 4.01.2014 г. Прогнозата на относителната влажност в АЧЕ е по-точна, но остава далеч от реално измерената.



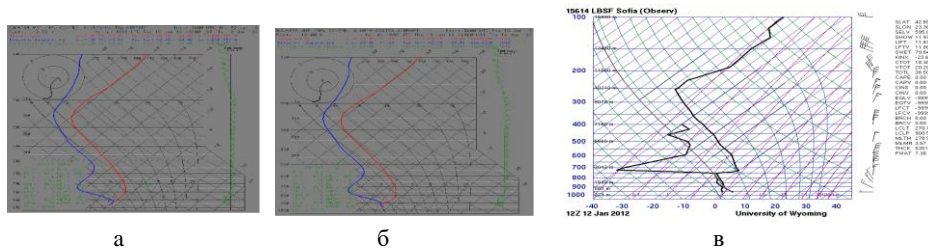
Фиг. 3. Наблюдавана приземна температура и относителна влажност (черна линия), РЧЕ (непрекъснатата линия) и АЧЕ (прекъснатата линия) на 4.01.2014 г.

3.3 АЧЕ НА ТИП III СИНОПТИЧНИ ОБСТАНОВКИ С МЪГЛА

При обстановките от група III също се наблюдава подобрене. Температурата на образуване на мъгла се прогнозира средно с 1,3 °C по-точно, ако се използва асимилация. На фиг. 4 е показан случай от 12.01.2012 г. Подобрието в прогнозата на температурата е очевидно. Сравнявайки реалния и прогнозните вертикални профили на температурата за точката на летището (фиг. 5), виждаме, че в АЧЕ е прогнозирана повдигнатата инверсия, която е наблюдавана.



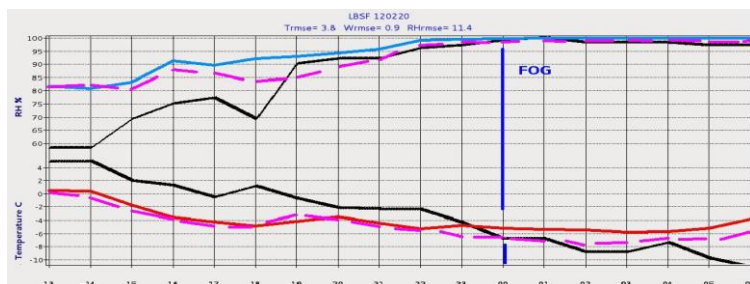
Фиг. 4. Наблюдавана приземна температура (черна линия), РЧЕ (непрекъснатата линия) и АЧЕ (прекъснатата линия) на 12.01.2012 г.



Фиг. 5. Профил на температурата в 12 UTC на 12.01.2012 г.: а, б) моделни прогнози без/с асимилация; в) от аерологичен сондаж в София

3.4. АЧЕ НА ТИП IV СИНОПТИЧНИ ОБСТАНОВКИ С МЪГЛА

При четвъртата група случаите, в които моделът се е справил добре и без асимилация, добавянето ѝ носи подобрене на прогнозата на приземната температура само с 0,4 °С. Случаят от 20.02.2012 г. (фиг. 6) демонстрира подобрието на прогнозата за тази група. Вижда се, че в АЧЕ прогнозата на нощното понижениe на температурата на 21.02.2012 г. е по-точна с около 1°С.



Фиг. 6. Наблюдавана приземна температура и относителна влажност (черна линия), РЧЕ (непрекъснатата линия) и АЧЕ (прекъснатата линия) на 20.02.2012 г.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целта на настоящото изследване е оценка на влиянието на използване на асимилация в числената прогноза на мъгла за района на летище София. За целта са проведени числени експерименти с модел WRF на 18 случая с мъгла в периода 2011–2014 г. Резултатите от числените експерименти са сравнени с измерванията на температура, относителна влажност и скорост на вятъра от метеорологичната станция на летището. От получените резултати се вижда, че добавянето на асимилация подобрява прогнозата на температурата и относителната влажност във всички случаи, независимо от обстановката.

Настоящите изследвания показват чувствителността на числените прогнози на видимост към началните условия [1]. Необходимостта от прилагане на асимилация на допълнителни данни се обуславя от неточностите на “захранващите” данни, които обикновено идват от глобален модел. По тази причина включването на асимилация е задължителен етап от процеса [2]. В общия случай се асимилират стандартни данни, но се експериментира и с допълнителни източници, като например данни от измервания с GPS или микровълнови радиометри [3].

Благодарности. Настоящото изследване е осъществено с подкрепа на проект BG051 PO001-3.306-0057 „Изграждане на съвременна образователна и научно-изследователска среда за развитие на докторанти, постдокторанти и млади учени във Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“. Изказваме благодарност на гл. ас. д-р Стоян Писов, катедра „Атомна физика“ на Физическия факултет на СУ, както и на Иван Бенков, системен администратор в ДП РВД, за оказаното съдействие при инсталацията и работата с WRF и WRFDA.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сираков, Д. Числени методи за прогноза на времето. София, 1985.
- [2] Манафов, И., Г. Герова. *Годишник на СУ “Кл. Охридски”, Физ. фак.* 2015, **108**, 48.
- [3] WRF Data Assimilation System Users Page, accessed 15 January 2016:
<http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/wrfda> .
- [4] Xiang-Yu, H., H. Vedel. An introduction to data assimilation, Danish Meteorological Institute.
- [5] Bergot, Th., D. Guedalia. *Mon. Wea. Rev.*, 1994, **122**, 1218.
- [6] Muller, M D., D. Masbou, A. Bott, Z. Janjic. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 2010, **136**, 2189.
- [7] Cimini, D., O. Caumont, U. Lohnert, L. Alados-Arboledast, T. Huet, M. E. Ferrario, F. Madonna, A. Haefele, F. Nasir, G. Pace, R. Posada, R. Bleisch. A data assimilation experiment of temperature and humidity profiles from an international network of ground-based microwave radiometers. 2014 Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing of the Environment (MicroRad); 03/2014.
- [8] COST Action 722: Short Range Forecasting Methods of Fog, Visibility and Low Clouds. ISBN/ISSN: 978-92-898-0038-9, 2008, 490.
http://w3.cost.eu/fileadmin/domain_files/METEO/Action_722/final_report/final_report-722.pdf