

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“
ФИЗИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ

Том 108

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”
FACULTY OF PHYSICS

Volume 108

ЧИСЛЕНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ НА СИНОПТИЧНИ ОБСТАНОВКИ С МЪГЛА НА ЛЕТИЩЕ СОФИЯ В ПЕРИОДА 2011–2014 Г.

ИЛИАН МАНАФОВ¹, ГЕРГАНА ГЕРОВА²

¹ ДП „Ръководство на въздушното движение“, София

² Катедра „Метеорология и геофизика“

*Илиан Манафов, Гергана Герова. ЧИСЛЕНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ НА СИНОПТИЧНИ
ОБСТАНОВКИ С МЪГЛА НА ЛЕТИЩЕ СОФИЯ В ПЕРИОДА 2011–2014 Г.*

Мъглата е едно от метеорологичните явления, прогнозата на които е от особена важност за авиацията. Целта на настоящата работа е да проучи възможността за разработване на оперативно средство, използващо мезомашабен числен модел WRF, за прогноза на мъгла на летище София. За целта са направени числени симулации на 18 ситуации с мъгла и е анализирана способността на модела да симулира мъглите на летище София.

За контакти: Илиан Манафов, Летищен център за ОВД, Горна Оряховица, тел. +359 618/61608,
E-mail: ilian.manafov@bulatsa.com

Fog is a weather phenomenon the forecast of which is essential for aviation safety. This work explores the potential to develop an operational tool, based on numerical weather prediction model WRF, for fog forecasting at Sofia airport. For this purpose numerical simulation of 18 fog cases are computed and the model skills for fog forecasting at Sofia Airport are analysed.

Keywords: NWP, fog

PACS numbers: 92.60.-e

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Въпреки значителния напредък в численото моделиране на времето, както и на теоретичните изследвания на процесите при образуване на мъгли, оперативните методи за прогноза все още не задоволяват изискванията. Мъглата по дефиниция е система от намиращи се в приземния слой водни капчици и/или ледени кристалчета, намаляващи хоризонталната видимост под 1 km. Тя е едно от метеорологичните явления, които най-силно се отразяват на работата на авиацията. Освен пряката опасност за сигурността на полетите, това явление често е причина за закъснение на полетите и объркване на разписанията на летищата. Годишните загуби за авиационния бизнес се оценяват на стотици милиони евро.

В практиката не се е наложил единен метод за прогноза на мъгли, за който да е прието, че осигурява най-добри резултати. Счита се [1, 2], че използването на мезомашабен числен модел (МЧМ) е ключов елемент от комплексната система за оперативна прогноза на мъгла. Прилагането на МЧМ за прогноза на мъгла е многократно изследвано [3]. Изводите от тези изследвания са, че самостоятелното му използване не може напълно да удовлетвори изискванията за прогнозиране на мъгла. Основните причини за това са самите характеристики на явлението. Мъглата е приземно явление и силно зависи от релефа и местните циркулационни особености. Процесите, които влияят на образуването ѝ, са комплексни, трудни за числено описание и моделирането им силно зависи от параметризациите на физичните процеси в приземния слой. От друга страна обаче, МЧМ е средството, което се счита, че дава добро първо предположение за процесите, свързани с мъглите [2–4]. Като начална стъпка от разработването на система за прогноза на мъгли на летище София е инсталиран численият модел Weather Research and Forecasting (WRF). Избрани са 18 обстановки с наблюдавани мъгли. Ситуациите са подбирани така, че да бъдат включени различни видове мъгли както по териториален обхват и продължителност, така и по синоптичната обстановка, в която се образуват. Проведени са числени експерименти за подбор на подходящите физични параметризации на модела [5].

В настоящата работа е изследвана способността на МЧМ-WRF да моделира условията за мъгла и са анализирани грешките в прогнозните приземна температура, вятър и относителната влажност. В раздел 2 е обяснена използваната моделна конфигурация, в раздел 3 са представени разгледаните синоптични ситуации, а в раздел 4 е направена класификация на моделните резултати и са анализирани грешките спрямо наблюденията.

2. ОПИСАНИЕ НА ЧИСЛЕН МОДЕЛ WRF И НАБЛЮДЕНИЯ

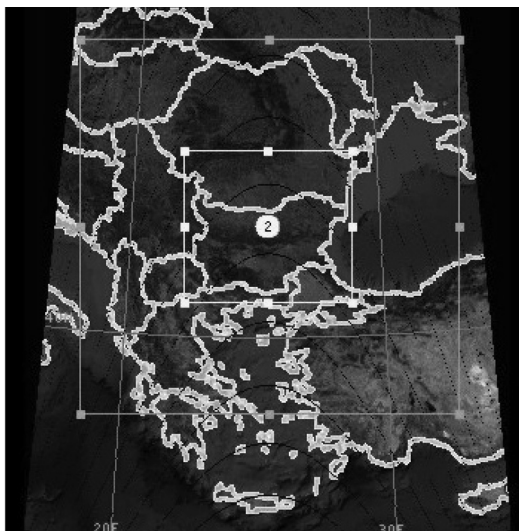
2.1. ЧИСЛЕН МОДЕЛ ЗА ПРОГНОЗА НА ВРЕМЕТО – WRF

Използваният в тази работа WRF [4] е числен модел за прогноза на времето, разработен от Националния център за изследване на атмосферата (NCAR) съвместно с Националния център за изучаване на атмосферата и океана (NOAA в състава на NCEP), Лабораторията за системи за прогнозиране (FSL Forecast Systems Laboratory), Агенцията за времето на Военно-въздушните сили (AFWA Air Force Weather Agency), Военноморската изследователска лаборатория (Naval Research Laboratory), Университета в Оклахома (Oklahoma University) и Федералната авиационна администрация (FAA – Federal Aviation Administration) на САЩ. Използвани са следните, предварително подбрани физични параметризации [5]:

- 1) Noah LNS за подложната повърхност (LS);
- 2) QNSE за планетарен граничен слой;
- 3) Thompson за микрофизика (MP);
- 4) RRTM/RRTMG за късовълнова радиация.

Като начални и гранични условия са използвани симулациите на глобалния числен модел GFS (Global Forecast System) на National Centers for Environmental Prediction (NCEP) с хоризонтална резолюция $0,5^\circ$. Избрана е нестинг-конфигурация с две области за числени експерименти с модела, показани на фиг. 1.

Първата е с хоризонтална резолюция 12 km и обхваща територията на Балканския полуостров, а втората обхваща само България и е с резолюция 4 km (фиг. 1). Използвани са 44 вертикални нива.



Фиг. 1. Моделни области на числени симулации с модел WRF.
С жълта линия са оградени външната и вътрешната област

2.2. НАБЛЮДЕНИЯ

Резултатите от работата на модела са сравнени с метеорологичните наблюдения от Метеорологичната служба за следене (МСС) на летище София към Държавно предприятие „Ръководство на въздушното движение“. Наблюденията се извършват с помощта на Автоматизирана метеорологична наблюдателна система (АМНС) от фирмата производител Вайсала. Разработена и използвана за авиационни цели, АМНС осигурява висока точност и голяма честота на измерванията. В работата са използвани едночасови измервания на кръгъл час за температура, относителна влажност и скорост на вятъра. Районът на летище София се характеризира с климатични и орографски особености, допринасящи за честа поява на мъгли. Летището се намира в Софийското поле и е обградено от Стара планина, Витоша, Люлин и Лозенска планина.

Средногодишно мъгли с различна продължителност се наблюдават в около 50 дни според статистиката от метеорологичната станция на летището.

3. СИНОПТИЧНИ ОБСТАНОВКИ С МЪГЛА НА ЛЕТИЩЕ СОФИЯ В ПЕРИОДА 2011–2014 Г.

Подбрани са 18 синоптични обстановки (СО) с мъгла на летище София в периода 2011–2014 г. От тях 5 са трайни мъгли, 13 – краткотрайни, 6 – об-

хващащи обширна област, а 12 са локални само за района на летище София. Кратко описание на обстановките е дадено в табл. 1.

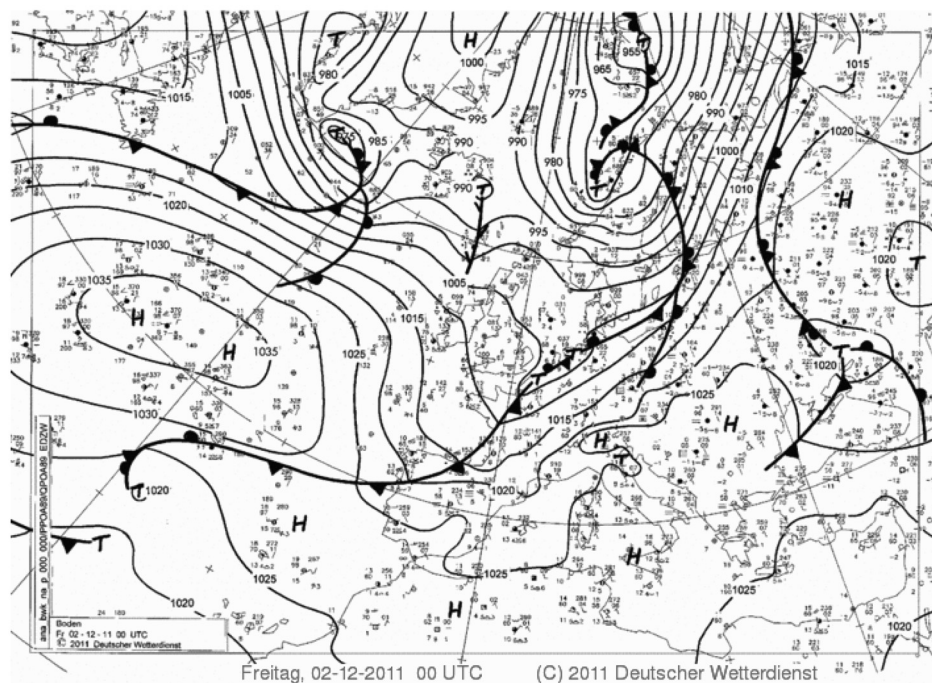
Таблица 1: Синоптични обстановки с мъгла на летище София

Номер на СО	Дата на начало на ситуацията	Час по Гринич / дата на падане на мъглата	Тип мъгла по продължителност	Област на покритие	Особености
1	1.12.2011 г.	02 / 02.12.11	Краткотрайна	Локална	
2	3.12.2011 г.	05 / 04.12.11	Продължителна	Локална	
3	11.12.2011г.	18 / 11.12.11	Продължителна	Обширна	Придружена с дъжд
4	12.12.2011г.	Постоянна	Продължителна	Обширна	
5	12.1.2012 г.	21 /12.01.12	Краткотрайна, разсейва се след 08 часа	Обширна	Вечерта на 13.01 вали дъжд
6	23.1.2012 г.	06 /.24.01.12	Кратка, разсейва се след 10 часа	Локална	Слаб дъжд след разсейването
7	31.1.2012 г.	03 /01.02.12	Краткотрайна, разсейва се след 07 часа	Локална	
8	19.2.2012 г.	02 /20.02.12	Краткотрайна, разсейва се след 08 часа	Локална	
9	20.2.2012 г.	23 /20.02.12	Краткотрайна, разсейва се след 08 часа	Локална	
10	6.11.2013 г.	06 /07.11.13	Краткотрайна, разсейва се след 08 часа	Локална	Вечерта на 6.11 валеж от дъжд
11	16.11.2013 г.	01 /17.11.13	Краткотрайна, разсейва се след 06 часа	Обширна	Вечерта на 17.11 започва трайна мъгла
12	21.11.2013 г.	06 /22.11.13	Краткотрайна, разсейва се след 09 часа	Локална	
13	14.12.2013 г.	22 /14.12.13	Краткотрайна, разсейва се след 07 часа	Локална	Временно подобрение в периода 02–04
14	19.12.2013 г.	23.30 /19.12.13	Краткотрайна с временни подобрения, разсейва се след 06	Локална	Кратки епизоди с мъгла
15	21.12.2013 г.	03.30 /22.12.13	Дълготрайна, временно подобрение около обяд	Локална	
16	1.1.2014 г.	07 /02.01.14	Кратки епизоди с сутрешна мъгла	Локална	
17	4.1.2014 г.	Постоянна	Дълготрайна	Обширна	Трайна инверсия
18	16.1.2014 г.	23 / 16.01.14	Краткотрайна, разсейва се след 09 часа	Обширна	Вечерта на 17.1 отново се образува мъгла

4. ЧИСЛЕНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ НА СИНОПТИЧНИ ОБСТАНОВКИ НА МЪГЛА

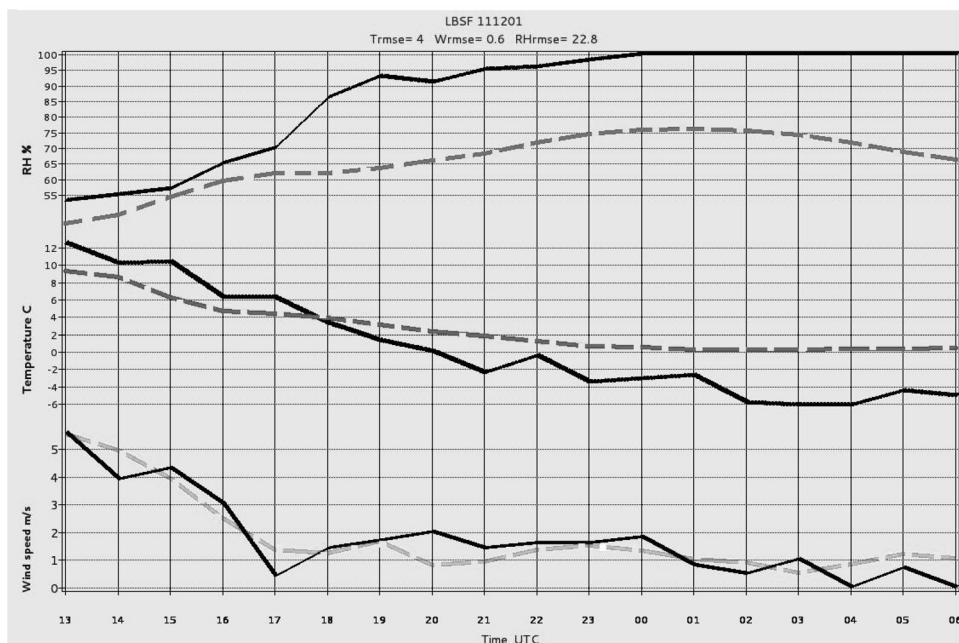
4.1. СИНОПТИЧНА ОБСТАНОВКА ТИП I

Синоптическа обстановка тип I се характеризира със сутрешна инверсия, която бързо се разрушава след изгрева. Мъглата е тънка и се образува само в ниските теренни форми. Характерно е, че тази мъгла е локална за района на летище София и наблюденията в синоптическа станция НИМХ (разположена на 5 km от летището) не отчитат значимо намаление на видимостта. Обяснението е в локалното понижение на температурата, достатъчно за кондензация само в района на летището. Осем от 18 обстановки (45 %) са от тип I. Синоптическата обстановка на 02.12.2011 г. (СО 1) е представителна за тип I. Характерно е антициклонално приземно поле над България (фиг. 2). През предходния ден не се наблюдава трайна инверсия.



Фиг. 2. Приземна карта на 02.12.2011 г. 00 UTC

В първите часове на прогнозата ходът на температурата, относителната влажност и скоростта на вятъра са добре симулирани от модела (фиг. 3).



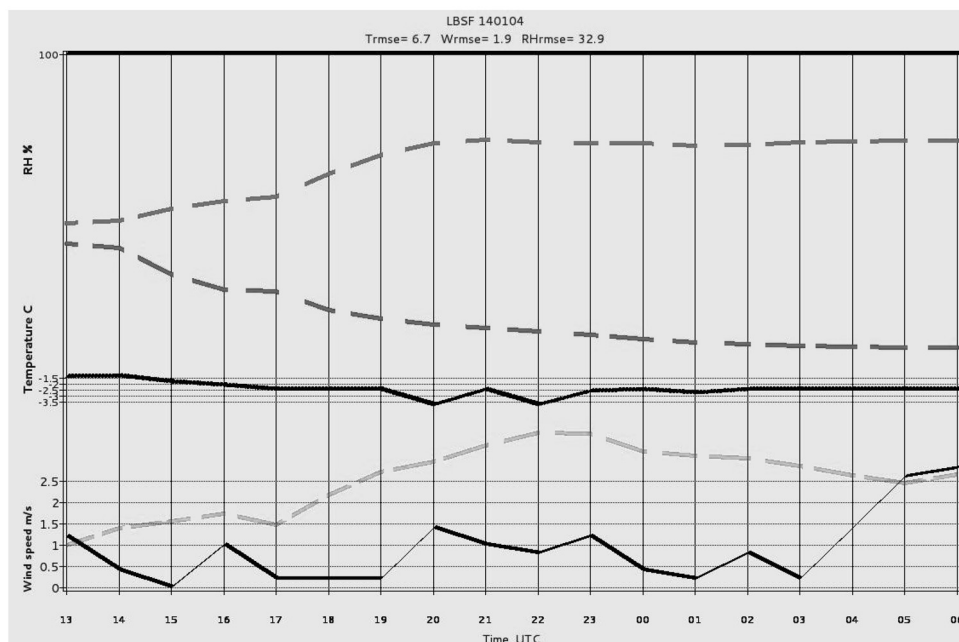
Фиг. 3. Относителна влажност [%]: измерена (плътна линия горе), прогностична (прекъсната линия) от 13 UTC на 01.12.2011 г. до 06 UTC на 02.12.2012 г. Температура [°C]: измерена (плътна линия среда), прогностична (прекъсната линия). Скорост на вятъра [m/s]: измерена (плътна линия долу), прогностична (прекъсната линия)

Моделът прогнозира скоростта на вятъра със средно квадратична грешка от 0,6 m/s. При това в периода на реалното повишаване на влажността прогнозиранят вятър е по-слаб от реалния. Въпреки че началното понижение на температурата е относително добре прогнозирано (средно с грешка под 2 °C), след 19 UTC на 1 декември 2011 г. прогнозата на температурата силно се влошава, като общата средноквадратична грешка достига 4 °C. Това води до влошаване на прогнозата на относителната влажност, като прогнозираното ѝ повишение не е достатъчно за образуване на мъгла. Прогнозиранят ход на температурата е по-близък до измерванията в станцията на НИМХ (не е показано тук), което е индикация, че допълнителното понижение на температурата е следствие на локални процеси. Характерните особености на грешката на модела в тези ситуации могат да се обяснят с грубата резолюция на модела, която не отчита допълнителното охлаждане поради орографски особености.

4.2. СИНОПТИЧНА ОБСТАНОВКА ТИП II

Две обстановки (11 %) са от тип II. Характерната обстановка от тип II е антициклонално, стабилно време с трайни, многодневни инверсии. Такава обстановка се реализира на 4 януари 2014 г. (СО 17).

На фиг. 4 се вижда, че измерената приземна температура (плътна линия) не се променя значимо и остава в диапазона $-3,5/-1,5$ °C. Измерената скорост на вятъра също не се изменя значимо и остава около 1,5 m/s.

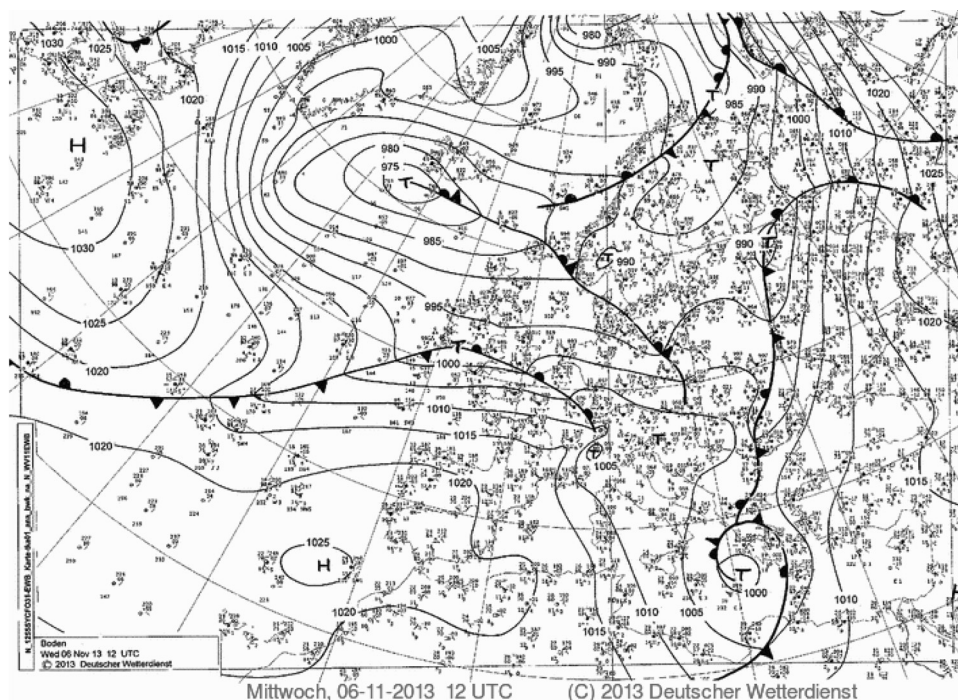


Фиг. 4. Относителна влажност [%]: измерена (плътна линия горе), прогностична (прекъсната линия) от 13 часа на 03.1.2014 г. до 06 UTC на 04.01.2014 г. Температура [°C]: измерена (плътна линия среда), прогностична (прекъсната линия). Скорост на вятъра [m/s]: измерена (плътна линия долу), прогностична (прекъсната линия)

Симулираната с модела приземна температура е средно с 6,7 °C по-висока. Особено висока е тя в началото на периода. Въпреки че моделът прогнозира пад на температурата, грешката остава. Проблемът е в началните условия от глобалния модел GFS, които не отразяват трайната, дълбока инверсия. Така тип II грешки са поради грешни начални условия на числените симулации. Този тип ситуации са относително редки (само две от изследваните осемнадесет), но при тях мъглите предизвикват най-сериозни проблеми на авиацията.

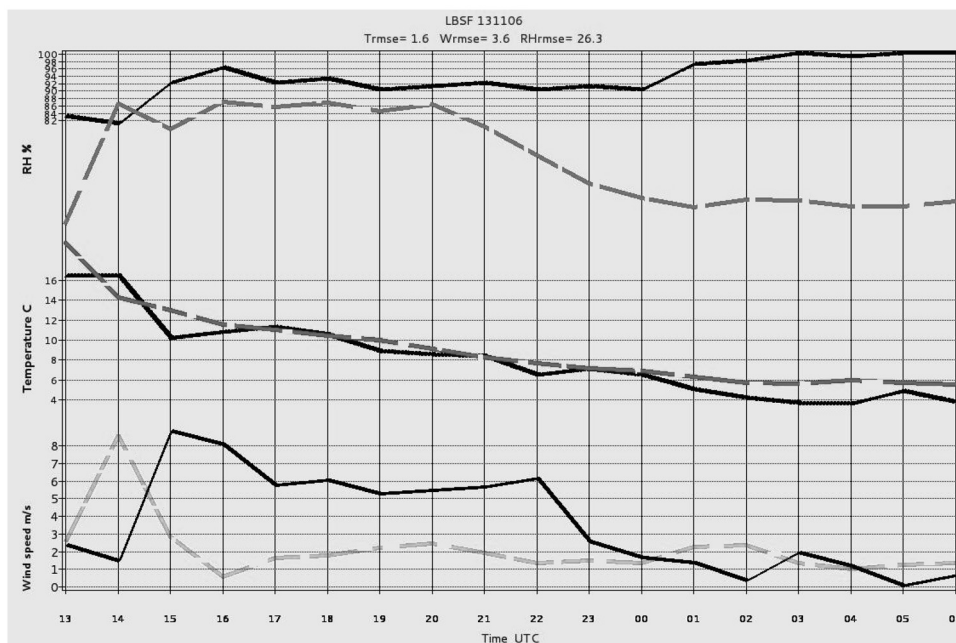
4.3. СИНОПТИЧНА ОБСТАНОВКА ТИП III

Към тип III се отнасят 3 СО (16 %). Групирани са случаи, в които грешките на симулацията се дължат в най-голяма степен на грешно симулиране на динамичните процеси, определящи синоптичните условия над района. Най-често тези проблеми на модела са определящи за грешката на прогнозата при динамични обстановки, обикновено свързани с преминаването на фронт. Грешката може да е заложена в симулацията на граничните условия от GFS, които ползва моделът, както и в динамиката на самия модел. Пример за такъв тип обстановка е 6 ноември 2013 г. (СО 10). София се намира в челото на средиземноморска депресия (фиг. 5).



Фиг. 5. Приземна карта на 06.11.2013 г. 12 UTC

Вижда се, че моделът много добре прогнозира хода на температурата със средно квадратична грешка от 1,6 °C. Въпреки това прогнозната относителна влажност намалява след 20 UTC на 05.11.2013 г. (фиг. 6) за разлика от измерената.



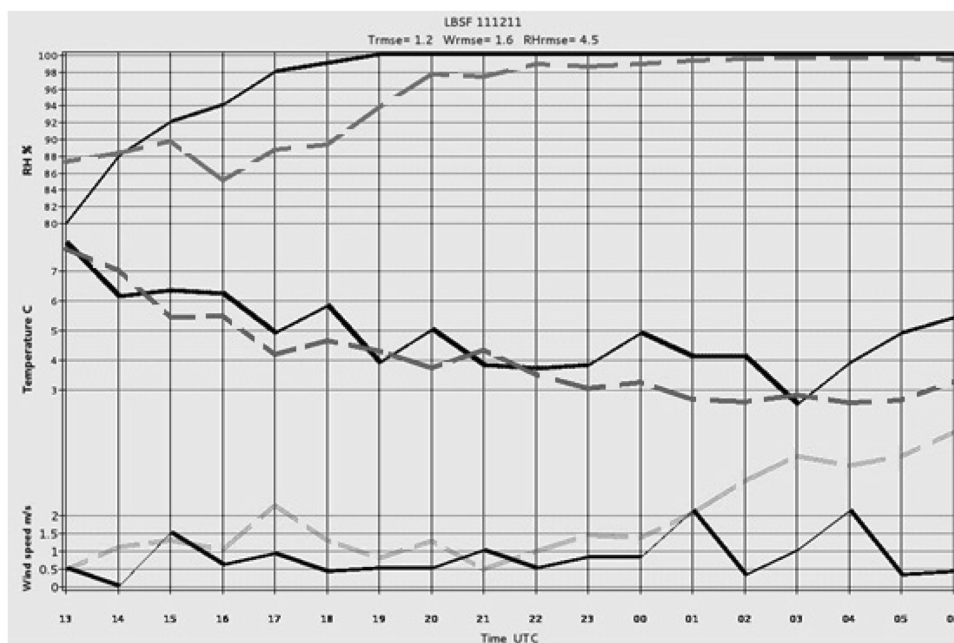
Фиг. 6. Относителна влажност [%]: измерена (плътна линия горе), прогностична (прекъсната линия) от 13 UTC на 05.11.2013 г. до 06 UTC на 06.11.2013 г. Температура [°C]: измерена (плътна линия среда), прогностична (прекъсната линия). Скорост на вятъра [m/s]: измерена (плътна линия долу), прогностична (прекъсната линия)

Такова намаление на приземната относителна влажност, въпреки добре прогнозираното нощно охлаждане, може да е предизвикано от симулиране на динамични процеси, които реално не са се случили (като например, прогнозиране на по-рано преминал атмосферен фронт или друг процес, който променя моделираните процеси на разпределение на влагата). Голямата грешка в прогнозата на скоростта на приземния вятър (3,6 m/s) подкрепя това предположение.

4.4. СИНОПТИЧНА ОБСТАНОВКА ТИП IV

Това са обстановки, в които числената прогноза се приема за добра. Те се характеризират отново с антициклонално поле. Условието са типични и подходящи за образуване на мъгли, обхващащи сравнително големи територии (сравнено с локалните мъгли от тип I). За разлика от тип II тук не се наблюдава предхождаща дълбока инверсия, която да окаже влияние на началните условия на симулацията. В тези ситуации прогнозираният ход на температурата и на относителната влажност са близки до реалните. Въпреки това

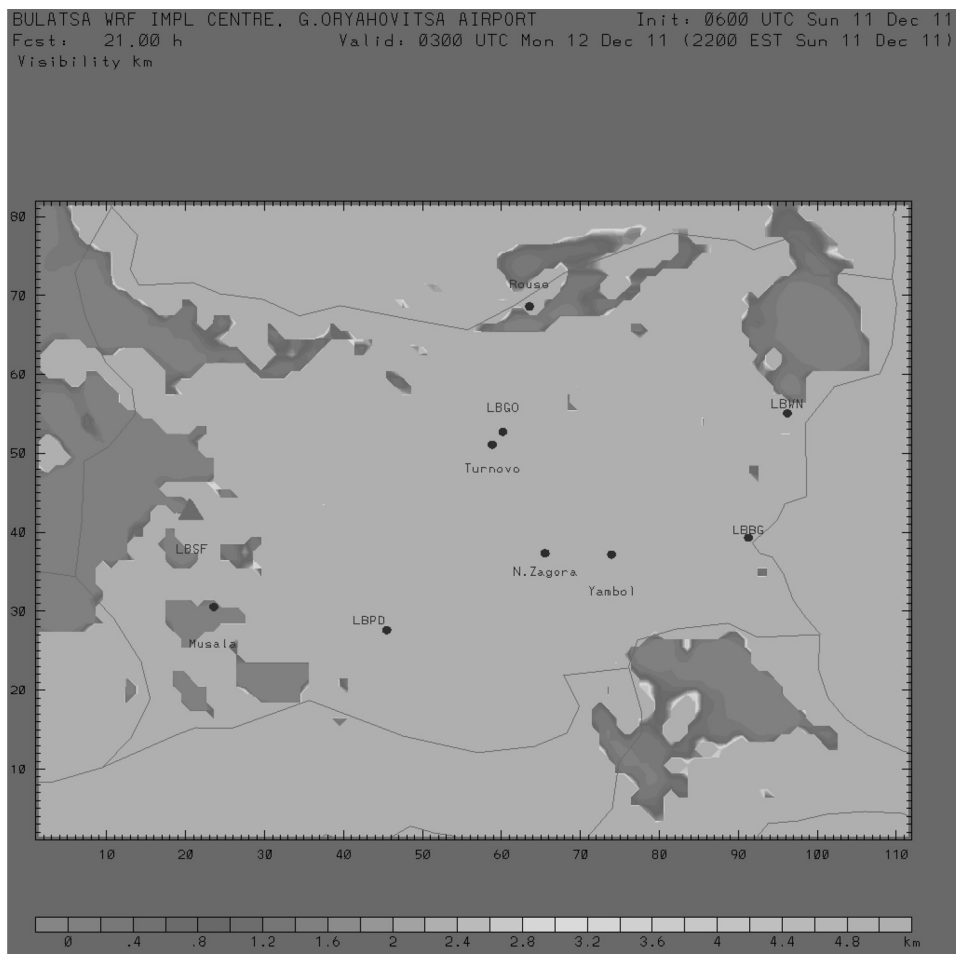
относителната влажност, като правило, остава по-ниска от измерената. Това си остава слабост на избраната микрофизична параметризация на облачните капки. Такъв е случаят CO 3 на 11.12.2011 г. (фиг.7)



Фиг. 7. Относителна влажност [%]: измерена (плътна линия горе), прогностична (прекъсната линия) от 13 UTC на 10.12.2011 г. до 06 UTC на 11.12.2011 г. Температура [°C]: измерена (плътна линия среда), прогностична (прекъсната линия). Скорост на вятъра [m/s]: измерена (плътна линия долу), прогностична (прекъсната линия)

Средно квадратичната грешка на прогнозата на температурата, скоростта на вятъра и относителната влажност съответно са 1,2 °C; 1,6 m/s и 4,5 %. Както се вижда от прогностичната карта на видимостта (фиг. 8), моделът прогнозира мъгла за района на летище София.

Най-общо в тези случаи приемаме, че моделът еднозначно е симулирал условия, подходящи за образуване на мъгла. Като цяло доброто представяне на модела се получава в обстановки, типични за образуване на обширни мъгли.



Фиг. 8. Прогноза на зони с мъгла. Вижда се, че моделът успешно прогнозира мъгла за района на летище София (точка LBSF с триъгълник)

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целта на настоящото изследване е да се оценят причините за грешка 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 температурата, относителната влажност и скоростта на вятъра от метеорологичната станция на летището. Анализираните обстановки са групирани в четири групи съобразно представянето на числената прогноза. В пър-

вите три групи са класифицирани случаите с незадоволително представяне на модела, като са посочени причините за грешката в прогнозата, определящи за съответната група.

Най-често срещаните грешки са причинени основно от относително грубата резолюция, когато моделът не „различава“ ниската теренна форма, в която се намира летището. В 8 от 18 случая (45 %) грубата пространствена резолюция е основната причина за значителната грешка в прогнозата на условия за мъгла. Следващата група са грешките от неточни начални условия. Те са относително редки, 2 от 18 случая (11 %). Грешката, която внасят тези неточни инициализиращи полета, често е толкова значителна, че прогнозата на модела е безполезна. Редуцирането на тези случаи смятаме, че е възможно с използване на асимилация на допълнителни данни.

Третата група са случаите на грешки, свързани с несъвършенства на динамиката и физиката на модела, 3 от 18 случая (16 %). Този проблем е трудно преодолим. Грешката в отместването във времето на преминаване на симулirаният и измереният фронт не би могла да се коригира на този етап. Мъглите, формирани в такива случаи, като цяло са малко, защото се наблюдават предимно в динамични обстановки, когато мъглите са рядко явление.

Случаите, когато представянето на модела е прието за добро, са 5 (28%) и обикновено са при по-обширни мъгли. Дори и тогава относителната влажност в модела остава по-ниска от измерената.

Резултатите от така направената класификация ще спомогнат за подобрене на използвания числен модел като основа на разработка на оперативно средство за прогноза на мъгли на летище София. Въз основа на тях работата ни ще продължи с повишаване на резолюцията на модела, използване асимилацията на допълнителна информация и постпроцесинг, който да редуцира непреодолимите слабости на числената прогноза.

Освен това така направената класификация ще е полезна и при обучението на синоптиците, използващи числените прогнози на видимост с оглед идентифициране и коригиране на възможна грешка.

Благодарности. Изказваме искрени благодарности на гл. ас. д-р Стоян Писов, от катедра „Атомна физика“ на Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“, както и на Иван Бенков, системен администратор в ДП РВД, за оказаното съдействие при инсталацията и работата с модела WRF. Гергана Герова благодари за финансовата подкрепа от проект FP7-Marie Curie International Reintegration Grant (FP7-PEOPLE-2010-RG).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Shaw, B. L., P. L. Spencer, R. L. Carpenter, Jr., and Ch. A. Barrere, Jr. Weather Decision Technologies, Inc., Norman, Oklahoma, Implementation of the WRF model for the Dubai International Airport, Aviation weather decision support system.
- [2] Bang, Ch.-H., J.-W. Lee and S.-Y. Hong. Predictability Experiments of Fog and Visibility in Local Airports over Korea using the WRF Model. *J. of Korean Soc. Atm. Env.* , 2008, **24**, E 2, 92.
- [3] Romn-Cascn, C., C. Yague, M. Sastre, G. Maqueda, F. Salamanca and S. Viana. Observations and WRF simulations of fog events at the Spanish Northern Plateau, *Adv. Sci. Res.*, 2012, **8**, 11; doi: 10.5194/asr-8-11-2012.
- [4] Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X. Y., Wang, W., and Powers, J. G. A description of the advanced research WRF version 3, NCAR Technical note, NCAR/TN-475+STR, 2008.
- [5] Manafov, I., G. Gueroval. Numerical simulations of fog case studies at Sofia airport in 2012. In: Proceedings of the 2nd National Physics Congress, 26–29/09/2013, Sofia, Bulgaria.