



**СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“
ФИЗИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ**

Катедра „МЕТЕОРОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА“

Елена Георгиева Топузова

„Краткосрочна прогноза на опасни за авиацията явления“

(за летище Бургас)

**АВТОРЕФЕРАТ
на
ДИСЕРТАЦИЯ**

за получаване на образователна и научна степен
„ДОКТОР“

Професионално направление 4.1. Физически науки,
научна специалност „Физика на океана, атмосферата и околоземното
пространство“

**НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:
доц. д-р Николай Рачев**

Рецензенти:

София, 2017

Дисертацията се състои от Увод и 7 глави, като първата е Литературен обзор, а последната – Заключение. Обемът ѝ е 160 страници, като включва 82 фигури, 16 таблици и 6 формули. Цитираната литература съдържа 87 заглавия.

Материалите по защитата са предоставени в канцеларията на СУ „Св. Климент Охридски“, Физически факултет, София 1164, бул. „Джеймс Баучър“ 5.

Съдържание

	стр.
Обща характеристика на дисертацията	4
ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР	5
ГЛАВА II. ИЗПОЛЗВАНА МЕТЕОРОЛОГИЧНА ИНФОРМАЦИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ	6
ГЛАВА III. МЪГЛИ НАД ЛЕТИЩЕ БУРГАС ПРЕЗ ПЕРИОДА 2008 - 2014 г.	7
III.1. Увод.....	7
III.2. Синоптични условия за образуване на мъгли над България.....	7
III.3. Мъгли над летище Бургас за периода 01.01.2008-11.09.2014 г.....	9
III.3.1. Видове мъгли над летище Бургас.....	9
III.3.2. Междугодишна и месечна изменчивост на мъглите.....	10
III.4. Три случая на образуване на мъгли над летище Бургас.....	13
ГЛАВА IV. МЕТОДИ ЗА ПРОГНОЗА НА РАДИАЦИОННИ МЪГЛИ НАД ЛЕТИЩЕ БУРГАС	15
IV.1. Увод.....	15
IV.2. Предварителен анализ.....	16
IV.3. Резултати.....	17
IV.3.1. Метод на Saunders и неговите модификации за прогноза на температурата на точката на мъглата.....	17
IV.3.1.1. Проверка на метода на Saunders за прогноза на температурата на точката на мъглата за „фалшиви аларми“.....	21
IV.3.2. Метод на Saunders за прогноза на температурата на разсейване на мъглата.....	21
IV.3.3. <i>FOGSI</i> , като критерий за формиране на радиационна мъгла и проверка на индекса за „фалшиви аларми“.....	23
IV.3.4. Метод на Меджитов за прогноза на часа на формиране и разсейване на радиационна мъгла.....	24
ГЛАВА V. СИНОПТИЧНИ ОБСТАНОВКИ, ВОДЕЩИ ДО СЪЗДАВАНЕТО НА ОПАСНИ ЗА АВИАЦИЯТА УСЛОВИЯ НА ЛЕТИЩЕ БУРГАС	26
V.1. Увод.....	26
V.2. Използвани данни и методология.....	26
V.3. Резултати.....	26
V.3.1. Силен приземен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$	26
V.3.2. Снежни виелици / поземки.....	29
V.3.3. Гръмотевични бури.....	30
V.3.4. Траектории на средиземноморските циклони.....	31
ГЛАВА VI. МЕТОДЪТ “DECISION TREE” ЗА ПРОГНОЗА НА НЯКОИ ОТ ОПАСНИТЕ ЯВЛЕНИЯ НА ЛЕТИЩЕ БУРГАС	34
VI.1. Увод.....	34
VI.2. Използвани данни и методология.....	35
VI.2.1. Схема по метода “decision tree” за прогноза на мъгла на летище Бургас.....	36

VI.2.2. Схема по метода „decision tree“ за прогноза на силен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$ и снежна виелица / поземка на летище Бургас	39
VI.3. Резултати	40
VI.3.1. Резултати от метода „ decision tree“ за прогноза на мъгла на летище Бургас	40
VI.3.2. Резултати от метода „ decision tree“ за прогноза на силен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$ и снежна виелица / поземка на летище Бургас	43
ГЛАВА VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	44
ОСНОВНИ ПРОНОСИ В ДИСЕРТАЦИЯТА	46
ПУБЛИКАЦИИ НА АВТОРА, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИЯТА	46
СПИСЪК С ИЗПОЛЗВАНИТЕ СЪКРАЩЕНИЯ	46
БИБЛИОГРАФИЯ	47

Обща характеристика на дисертацията

Актуалност и мотивировка на темата: През последните десетилетия въздушният транспорт непрекъснато се разраства и модернизира, като успоредно с него се поставят нови цели за безопасността и сигурността на полетите, чрез задълбочаване на знанията за причината породила авиоинцидентите, за по-добро разбиране на ефектите от новите технологии и процедури. Според проучванията (Kushwaha & Sharma, 2014), едно от направленията върху които трябва да се работи, за да се намалят инцидентите, е подобряване на техниките за прогноза на времето. В този смисъл, темата за подобряване на краткосрочните прогнози, свързани с опасните за авиацията явления е актуална и днес.

Цел и структура на дисертацията: Целите на настоящата работа са: 1) да се определят най-често срещаните синоптични обстановки, които благоприятстват формирането на адвективно-радиационни мъгли над летище Бургас; 2) да се изследва, доколко методът на Saunders за прогноза на образуване и разсейване на адвективно-радиационна и радиационна мъгла, може да се прилага за мъглите на летище Бургас; 3) да се диагностицират типичните синоптични обстановки за двете полугодия за България, които благоприятстват появата на силен приземен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$, както и снежна виелица или поземка за летището; 4) да се извърши актуален преглед на траекториите на средиземноморските циклони, тъй като надеждното прогнозиране на придвижването им, би довело до своевременно определяне на някои от опасните за авиацията условия на летището и 5) разработване на две схеми по метода „decision tree“ за летище Бургас, едната за прогноза на мъгла, другата за силен приземен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$.

Дисертационният труд се състои от 7 глави, първата от които е литературен обзор, а последната – заключение, публикации, свързани с дисертацията и списък на цитираната литература. В Глава II е представена използваната метеорологична информация и методология. Главите III, IV, V и VI са структурирани по сходен начин: увод, предварителен анализ, резултати и заключение. В Глава III са изследвани мъглите над летище Бургас през периода 2008-2014 г. В Глава IV са представени и изследвани методи за прогноза на радиационни мъгли над летище Бургас. Глава V анализира синоптичните обстановки, които водят до създаването на опасни за авиацията условия на летище Бургас. В Глава VI е представен методът „decision tree“, използван за прогноза на някои

от опасните явления на летище Бургас – мъгла и силен приземен вятър със средна скорост или пориви над 15 ms^{-1} .

Метод на изследванията: В дисертационния труд е използван синоптичният метод за извършване на приземен анализ и такъв във височина на разглежданите обстановки, като за някои от тях са интерпретирани и спътникови изображения. Разработвани са прогностични аерологични сондажи на атмосферата, за които са приложени методите на Saunders, за определяне температурата на точката на мъглата и тази, при която тя ще се разсее. Извършени са числени пресмятания.

Обща характеристика на научните приноси: Направени са изводи за типичните синоптични обстановки, които благоприятстват образуване на мъгли от адвективно-радиационен и радиационен тип над летище Бургас, също е изследвана междугодишната и сезонна изменчивост на броя и видовете мъгли над летището. Установено е, че методите на Saunders, за прогноза на температурата на формиране на мъглата, както и температурата, при която мъглата ще се разсее, са успешно приложими за радиационни и адвективно-радиационни мъгли над летището. Диагностицирани са най-честите синоптични обстановки за топлото и студеното полугодие за България, при които са налични благоприятни условия за появата на силен приземен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$, за студените месеци – за снежна виелица или поземка. Тъй като опасните явления най-често са свързани с влиянието на преминаващи средиземноморски циклони, е извършен актуален преглед на траекториите на средиземноморските циклони. Изследването от дисертационния труд е обобщено в две схеми за прогнози за летище Бургас, разработени по метода ”decision tree“, като едната е за мъгла, а другата – за силен приземен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$.

Практическо значение: Разработените схеми за прогноза на мъгла и силен вятър за летище Бургас, са надеждни и с лекота могат да бъдат приложени към оперативната работа на авиометеоролозите, за изготвяне на успешни прогнози и nowcasting за летище Бургас. Своевременното прогнозиране на опасните за авиацията явления е съществено за нормалната работа на органите на обслужване на въздушното движение, на координационния център на летището и летищните служби.

ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

През последните десетилетия се отчита повишение на сигурността на полетите при всички типове авиационни услуги (Laroche et al., 2012; Federal Aviation Administration, 2010). Според проучванията, за да се намалят инцидентите със самолети, трябва да се работи върху подобряване на техниките за прогноза на времето, за автоматично събиране на допълнителни метеорологични данни, чрез сензори монтирани на борда на въздухоплавателните средства, върху подобряване на разпространението на данните за времето (често налични само в текстов формат) и техниките за визуализация (Kushwaha & Sharma, 2014). На 13^{-та} световна конференция за проучване в сферата на транспорта, проведена през 2013 г. в Рио де Жанейро, Бразилия, е представено изследване на влиянието на особените явления на времето върху европейската авиационна индустрия, както към момента, така и за бъдеща ситуация през 2040 г. Проучване на федералната авиационна администрация, за периода 2003-2007 г. идентифицира авиационните инциденти, при които лошите метеорологични условия са били причина или допринасящ фактор за настъпването им (Federal Aviation Administration, 2010). Много често причина

за инцидентите, е комбинираното въздействие на няколко метеорологични фактора, както върху самите летателни апарати и наземното оборудване, така и върху персонала обслужващ полетите. В този смисъл, се търсят връзки между синоптичната обстановка и други фактори, като оперативни правила, процедури от наредбите за безопасност, и квалификацията на полетния екипаж (Federal Aviation Administration, 2010). Като едни от най-опасните явления, довели до самолетни катастрофи (Federal Aviation Administration, 2010) са цитирани вятър, видимост или долна граница на облачността, турбулентност и други. Разгледани са различни методи за прогноза на формиране и разсейване на мъгла, някои от които са изследвани в настоящата работа, чийто акцент е изготвянето на краткосрочна прогноза за опасните за авиацията явления.

ГЛАВА II. ИЗПОЛЗВАНА МЕТЕОРОЛОГИЧНА ИНФОРМАЦИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

Моментите на формиране и разсейване на мъгли на летище Бургас са регистрирани, чрез използване на редовните авиометеорологични съобщения METAR на Световната организация за гражданска авиация (ICAO) (WMO, 2014). Архивът след 2005 г. е със свободен достъп в Интернет (<http://www.ogimet.com>). Съобщенията METAR се излъчват на всеки 30 минути. Те съдържат данни за приземен вятър, видимост, видимост на пистата за излитане и кацане, време в момента на наблюдението (явление), облачност, температура на въздуха и точката на оросяване, атмосферно налягане, допълнителна информация (метеорологични явления в изтекло време, срез на вятъра, състояние на пистата за излитане и кацане) и тренд – прогноза (прогноза за кацане). Използването на информацията от съобщенията METAR, позволява да бъдат определени моментите на формиране и разсейване на мъглата с точност до половин час, както и да се определят приземните метеорологични условия по време на мъглата.

За определяне на синоптичната обстановка за образуването на мъгла над летище Бургас и за определяне на нейния вид, както за идентифициране на синоптичните обстановки на летището, свързани с появата на опасни за авиацията условия, и за изследване траекториите на средиземноморските циклони са анализирани синоптични карти на Европа. Те са по архивни данни от числени модели за прогноза на времето (GFS (www.wetter3.de/Archiv; www.wetterzentrale.de)) и атмосферни реанализи (ECMWF (www.ecmwf.int), NCEP (www.meteociel.fr)). Също така, са разгледани и архивните данни от измервания (www.stringmeteo.com/synop/bolc_map.ph), приземни синоптични карти (www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html; www.wetter3.de/Archiv/archiv_ukmet.html), и анализирани данни от сондажи на атмосферата (www.ready.noaa.gov). Изброените данни и карти са свободно достъпни в Интернет.

За изчисляване на индекса *FOGSI*, който оценява вероятността за формиране на радиационна мъгла, от архивните данни на сведенията METAR за Бургас, са взети приземната температура и точката на оросяване. От архивния прогностичен модел на GFS, са ползвани температурата и вятърът на ниво 850 hPa, участващи във формулата на *FOGSI*. За летището е получена критичната му стойност, която разделя ситуацияите с и без условия за формиране на мъгла.

За двугодишен период 2003 и 2004 г. (в глава VI) е ползвана информация от сведенията SYNOP на НИМХ към БАН, достъпна в Интернет (www.stringmeteo.com/synop/bg_stdav.php). Те се публикуват на всеки три часа и съдържат богата метеорологична информация.

ГЛАВА III. МЪГЛИ НАД ЛЕТИЩЕ БУРГАС ПРЕЗ ПЕРИОДА 2008 - 2014 г.

III.1. УВОД

В проучвания (Leviäkangas & Saarikivi, 2012) проведени за 35 годишен период, за три европейски летища, се стига до заключение, че в Европа, времевият тренд с ниска видимост намалява. За периода 2000-2007 г. за Бургас, в синоптичните срокове, е изследван броя на случаите с ниска видимост ≤ 200 m. Избрана е тази стойност, защото за летище Бургас за излитащи самолети, при видимост $>$ от 150 m и ≤ 400 m, се въвеждат правила и процедури за провеждане на полети в условия на ниска видимост. Установено е, че случаите с ниска видимост за Бургас от началото на 2000 г. намаляват, но след 2007 г. се наблюдава задържане и ясно изразен максимум през 2014 г. Затова проблемът с намалената видимост за Бургас и летището е актуален и днес.

Образуването на мъгла е свързано със синоптичните процеси в атмосферата, затова основна задача при прогнозирането им е да се установят най-благоприятните синоптични условия за тяхното формиране. В изследване на Годев (1976) са анализирани синоптичните условия благоприятстващи формирането на мъгли в България и е направена тяхната типизация, която е валидна предимно за мъглите във вътрешността на страната. Изследванията на редица автори (COST 722, 2003) показват, че използваните методи за успешна прогноза на мъгли в даден район не са подходящи за други райони, защото е важно отчитането на локалните фактори. Конкретно за летище Бургас това са близостта му до: 1) голям воден басейн (Черно море); 2) няколко по-малки водоема (Бургаските езера); и 3) голям промишлен център.

Основните цели на настоящото изследване е чрез анализ на синоптичните условия, да се установят причините за формиране на мъгли на летище Бургас за периода 01.01.2008 - 11.09.2014 г., да се проследи междугодишната и сезонната им изменчивост, и да се направи типизация на мъглите за конкретното летище, като се използват типизациите, предложени в предишните изследвания (Годев, 1976; Иванов, 1993). Разгледани са и три случая на формиране на мъгла над летище Бургас.

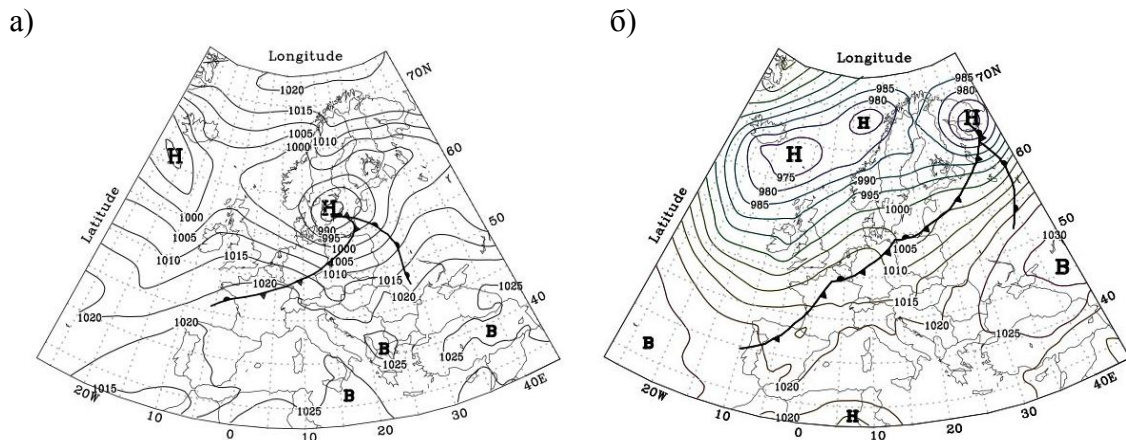
III.2. СИНОПТИЧНИ УСЛОВИЯ ЗА ОБРАЗУВАНЕ НА МЪГЛИ НАД БЪЛГАРИЯ

В изследването на Годев (1976) е установено, че над територията на България, която не е в близост до Черно море, най-често се формират мъгли на охлаждане, от които превес имат радиационните, следвани от два типа адвективно-радиационни мъгли. Мъглите на изпарение са по-редки и не са включени в предложената от автора типизация. В изследването на Иванов (1993) е показано, че за района на черноморското крайбрежие на България, по-чести са адвективните мъгли.

Според Годев (1976), над България има две характерни синоптични обстановки, при които се създават благоприятни условия за адвективно-радиационни мъгли, наречени адвективно-радиационни мъгли от 1^{-ви} и 2^{-ри} тип. При адвективно-радиационна мъгла от 1^{-ви} тип (фиг.1а), южните райони на Европа се намират в обширен топъл сектор на циклон, с център над северната част на континента. Над Черно море и България, се обособяват центрове на високо атмосферно налягане и над страната ни нахлува топъл океански въздух. При тези обстоятелства времето е почти безоблачно, което благоприятства за допълнителното радиационно изстиване на приземния въздух и формирането на мъгла. В случаите, при които централният циклон е над Скандинавския полуостров и Прибалтика, през страната ни преминава така наречената „опашка” на топъл фронт от запад на изток. Когато това се случва в сутрешните часове, тогава се образуват най-гъстите адвективно-радиационни мъгли (Годев, 1976).

При адвективно-радиационна мъгла от 2^{-ри} тип по Годев (фиг. 1б), България попада в югозападната част на обширен антициклон с център над Североизточна Русия. Над Атлантическия океан при Западна Европа е обособен централният циклон и от SW / S се

осъществява адвекция на топъл и влажен въздух с океански произход. През страната не преминава добре очертана граница на топъл фронт и мъглите са с комбиниран произход – адвективно-радиационни (Годев, 1976).



Фиг. 1. (13, 14) Схема на приземното барично поле при мъгла от тип 1 (а) и тип 2 (б) (Годев, 1976). След номера на фигурата в скоби е даден номерът, който е използван в дисертацията.

В настоящото изследване е използвана друга класификация на типовете мъгли над летище Бургас, която от една страна съответства на широко използваната синоптична класификация на Годев (1976), а от друга страна подчертава особеностите при формирането на крайбрежни мъгли. Основната цел на използването на тази класификация е да се сравнят резултатите от настоящото и предишните две ((Годев, 1976; Иванов, 1993)) изследвания.

Международен колектив от учени, участващи в акция COST 733 „Хармонизиране и приложение на класификациите на типове време за европейския регион“, създава числен метод за оценка, сравнение и класификация на типовете време за Европа (<http://cost733>). Слабости на изследването са използваните данни от ERA-40, с резолюция $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, чиито полета са много изгладени. Също така, Европа е разделена на 12 синоптични региона, но няма такъв, който да е централизиран над България. Страната ни попада в краищата на няколко района и това създава затруднение, да се направи съпоставка с фигурите на Годев. За 12-те региона на Европа, за различните методи, които се използват и за различните сезони, са създадени са над 5000 типа класификации на времето. За всеки регион се предлагат класификации от 9, 18, или 27 различни типа, поради което броят им нараства до 5000. Групирането е извършено по пет основни метода. Означението на всеки тип се състои от букви и цифри включващи метода, по който е извършено, годишната база, подрегиона, за който е класификацията, т. е. общо 16 символа от букви и цифри, което създава големи трудности при използването на текста. Затова, в настоящата дисертация, е предпочетено да се използват утвърдените в синоптиката в България, означения на баричните образувания по Годев. Те са много по-прегледни и в текста с думи е обяснено тяхното разположение, а не са използвани карти. Пример в (<http://cost733>) обозначават GWLo09_YR_S01_SP_D08 type #1, която съответства на тип I (фиг. 1а) по Годев. Класификацията е извършена за 45 годишен период - от 1957 до 2002 г., който не съвпада с този в настоящата работа (2004-2016 г.).

Друго изследване - на Иванов (1993), разглежда образуването на мъгли на летище Бургас и след отчитане на локалните особености за района на черноморското крайбрежие на България, и основните причини за формиране, мъглите са разделени на 6 вида: 1)

радиационна; 2) адвективна; 3) адвективна–морска; 4) адвективно–радиационна при ясно небе; 5) фронтална; 6) мъгла при снижение на ниски облаци.

В настоящото изследване е използвана друга класификация на типовете мъгли над летище Бургас, която от една страна съответства на широко използваната синоптична класификация на Годев (1976), а от друга страна подчертава особеностите при формирането на крайбрежни мъгли. Основната цел на използването на тази класификация е да се сравнят резултатите от настоящото и предишните две (Годев, 1976; Иванов, 1993) изследвания. Образованите мъгли над летище Бургас са разделени на 6 вида: 1) радиационна; 2) адвективна; 3) адвективно–радиационна от 1^{-ви} тип (Годев, 1976); 4) адвективно–радиационна от 2^{-ри} тип (Годев, 1976); 5) фронтална; 6) адвективно–радиационна при различни синоптични условия от тези при адвективно–радиационна от 1^{-ви} и 2^{-ри} тип.

III.3. МЪГЛИ НАД ЛЕТИЩЕ БУРГАС ЗА ПЕРИОДА 01.01.2008–11.09.2014 г.

III.3.1. ВИДОВЕ МЪГЛИ НАД ЛЕТИЩЕ БУРГАС

Изследваният в настоящата работа период е от 01.01.2008 - 11.09.2014 г., като над летище Бургас са регистрирани 128 случая с мъгла. Броят на случаите, е равен на броя на дните с регистрирана мъгла. Тази продължителност от близо 7 години е избрана, за да съответства на периода в изследването на Иванов (1993). След анализа на условията за формиране на мъгли и използването на класификацията, предложена в раздел 2, са получени следните резултати за шестте типа мъгли:

1) адвективно–радиационни, които не подлежат на типизация по (Годев, 1976) – 42 случая (33 %);

2) адвективни - 35 случая (27 %);

3) адвективно–радиационни от 1^{-ви} тип по (Годев, 1976) - 14 случая (11 %);

4) адвективно–радиационни от 2^{-ри} тип по (Годев, 1976) - 22 случая (17 %);

5) фронтални - 9 случая (7 %);

6) радиационни - 6 случая (5 %).

Забелязва се, че само една трета от образованите мъгли, могат да бъдат класифицирани по Годев (1976), което показва доминиращата роля на адвективните фактори при мъглите по Черноморието.

Особен интерес в настоящата работа представляват 42^{-та} от разглежданите случаи, които съществено се различават от типизацията за адвективно–радиационни мъгли по Годев (1976). След направения анализ се стига до извода, че при тях синоптичните обстановки се характеризират с размито барично поле от антициклонален или циклонален тип. Преобладаваща е адвекцията на топъл и влажен въздух от морето, вятърът е от ESE / E, който в съчетание с нощното радиационно изстиване при слабоградиентно барично поле и преориентиране на вятъра от SW, способства за формирането на адвективно–радиационна мъгла. Допълнителен принос за образуването на мъгла имат местната орография и промишлените предприятия. На югозапад от летището последните създават по-висока концентрация на кондензационни ядра, благоприятстващи формирането на мъглата. В часовете след полунощ, при слабоградиентни барични полета, вятърът по денонощен ход се ориентира от SW и е слаб – 2-3 m s⁻¹. Той пренася образувалата се югозападно от летището мъгла, над района на летището. От съществено значение в този случай са ориентацията на бреговата линия и разположението на няколко малки водоема, югозападно от летището. Прави впечатление, че при тези ситуации няма добре изразени фронтални системи или, ако има такива, то те са разположени далече на север от страната ни. На синоптичните карти няма и ясно изразен антициклон, в близост до територията на страната.

Ако сравним получените в настоящата работа резултати, с тези от изследването на Иванов (1993), се вижда, че ситуацията с мъгла през годините остават без съществена промяна. И в двете работи се разглежда 7-годишен период, съответно 2008 – 2014 г. и 1985 – 1991 г., като за първия са регистрирани общо 128 случая с мъгла над летище Бургас, а през втория - 119. В изследването на Иванов (1993), мъглите над летище Бургас са разделени също на шест типа, но са използвани различни критерии, от тези в настоящата работа: адвективна; радиационна; фронтална; мъгла при снижение на ниски облаци; адвективно–радиационна при ясно небе; и адвективна–морска мъгла. Първите три от видовете мъгла и в двете изследвания съвпадат. Ако в изследването на Иванов (1993) обединим останалите 3 вида мъгли, а в настоящото изследване обединим адвективно–радиационните, които не подлежат на типизация по Гоев (1976), адвективно–радиационните от 1^{-ви} и от 2^{-ри} тип и ги наречем за кратко адвективно–радиационни, ще може да направим съпоставка с резултатите от предходния период (Иванов, 1993). Резултатите са представени в таблица 1.

Таблица 1. (1) Брой и относителен дял (в проценти), на случаите с различни видове мъгла над летище Бургас, за периодите 01.01.2008 – 11.09.2014 г. и 1985 – 1991 г. В скоби след номера на таблицата е даден този, който е използван в дисертацията.

01.01.2008 – 11.09.2014 г.			1985 – 1991 г. (Иванов, 1993)		
Вид мъгла	Брой	(%)	(%)	Брой	Вид мъгла
Радиационна	6	4.7	4.2	5	Радиационна
Фронтална	9	7.0	13.5	16	Фронтална
Адвективна	35	27.3	35.3	42	Адвективна
Адв.-рад. 1 ^{-ви} т.	22	17.2	12.5	15	Сниж. на н. обл.
Адв.-рад. 2 ^{-ри} т.	14	11.0	5.9	7	Адв.-рад. ясно небе
Адв.-рад.	42	32.8	28.6	34	Адв.-морска

Резултатите от настоящото изследване, потвърждават основните изводи на Иванов (1993). И в двете работи се стига до заключението, че на летището най-малко са случаите с радиационна мъгла (4 – 5 %), следвани от фронталните (7 – 13 %). Около една трета от всички образували се над летище Бургас мъгли са чисто адвективни (27 – 35 %). Адвективно–радиационните мъгли са най-чести (47 – 61 %). Естествено е да има известни различия в броя на видовете мъгли между двете изследвания, доколкото: 1) определянето на вида на мъглата е до известна степен субективно; 2) използват се две различни класификации; и 3) има значителна междугодишна изменчивост на образуването на мъгла. Последното ще бъде разгледано в следващия параграф.

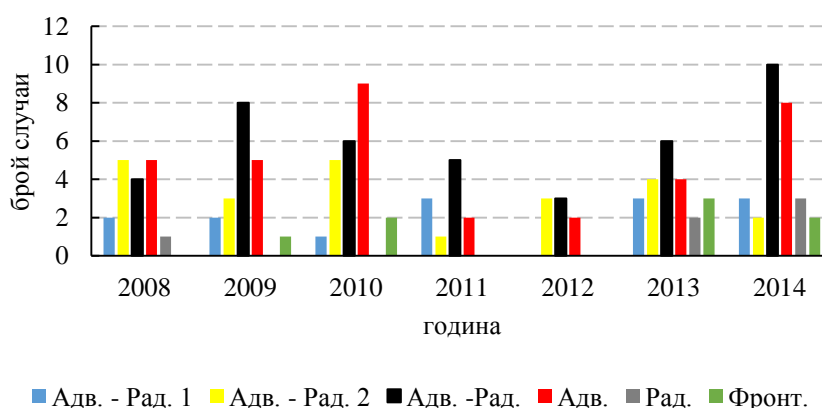
III.3.2. МЕЖДУГОДИШНА И МЕСЕЧНА ИЗМЕНЧИВОСТ НА МЪГЛИТЕ

Регистрираните случаи с мъгла на летище Бургас през разглеждания период варират от 8 през 2012 г. до 28 през 2014 г. (табл. 2). Тази съществена междугодишна изменчивост е свързана с преобладаващата през студеното полугодие атмосферна циркулация над Европа и в частност над Балканския полуостров. Това резултира в съществена междугодишна изменчивост на температурите и количествата валежи, както е показано в (Peneva & Rachev, 2008), и съответно върху условията за образуване на мъглите над България. Ярък пример за това е края на 2013 и началото на 2014 г., когато преобладаващата атмосферна циркулация над Европа се характеризира с преминаване на серии от дълбоки атлантически циклони с центрове, движещи се по линията Исландия – Скандинавски полуостров, а над Югоизточна Европа баричното поле най-често е слабоградиентно антициклонално (www.wetter3.de/Archiv; www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html). Това са едни от най-благоприятните условия за образуване на мъгли над страната (Гоев, 1976).

Таблица 2. (2) Брой на случаите с мъгла над летище Бургас (и в проценти) за периода 01.01.2008 – 11.09.2014 г.

година	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
брой сл.	17	19	23	11	8	22	28
% от всички сл.	13.3	14.8	18	8.6	6.2	17.2	21.9

На фиг. 2 е показано годишното разпределение на типовете мъгла през разглеждания период. От табл. 2 и фиг. 2 се вижда, че най-малък е броят на мъглите през годините 2011 и 2012. Анализът показва, че малкият брой мъгли през 2012 г. се дължи до голяма степен на пълното им отсъствие през януари и декември – два от месеците, които обикновено са с най-голям брой мъгли (Иванов, 1993). През по-голямата част на януари 2012 г. е бил добре изразен Азорският максимум, с развитие на гребен или отрог над Централна и Югозападна Европа, а към края на месеца към страната ни се придвижва и гребен на високо атмосферно налягане от Сибирския антициклон (www.wetter3.de/Archiv; www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html; www.wetter3.de/Archiv/archiv_ukmet.html). Територията на България остава в периферията на централните на високо атмосферно налягане. При такива синоптични обстановки, вятърът на летище Бургас е бил преобладаващо от север-северозапад със средна скорост около 5 m.s^{-1} и се е осъществила адвекция на студена и суха въздушна маса с арктичен произход. През по-голямата част на декември 2012 г. отново са добре изразени Азорският и Сибирският антициклони и същевременно се активизира и Средиземноморският център на циклогенез. Формираните средиземноморски циклони са обикновено плиткни и преминават по т. нар. южен път, а територията на България попада в северната им част (www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html; www.wetter3.de/Archiv/archiv_ukmet.html). Вятърът над Черноморието е с преобладаваща посока от североизток, север или северозапад и се осъществява адвекция на студен въздух с ниско влагосъдържание (www.stringmeteo.com/synop/bolc_map.php). При описаните синоптични обстановки няма благоприятни условия за образуване на мъгли над летище Бургас. Допълнително, през месеците от март до ноември 2012 г., средно месечните температури са били средно с около $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ над нормалните и е преобладавала адвекция на сравнително топъл и сух въздух.



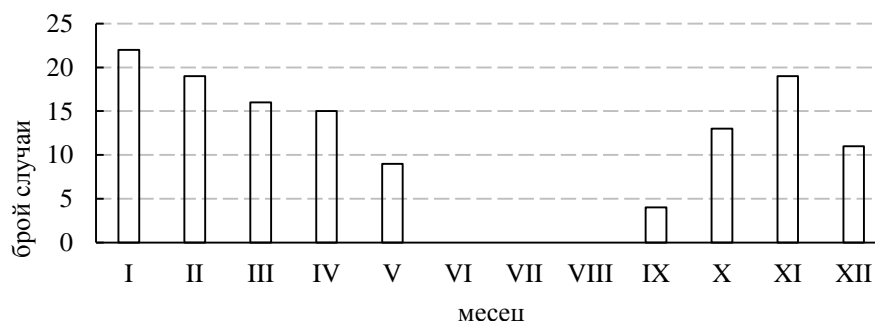
Фиг. 2. (17) Разпределение на типовете мъгла над летище Бургас по години, за периода 01.01.2008 – 11.09.2014 г.

През 2011 г. са регистрирани мъгли на летище Бургас само през месеците януари, март, май и декември. Една от причините за липсата на мъгли през октомври и ноември отново са синоптичните условия, които се характеризират с честото формиране на

антициклони над Централна Европа или над Европейска Русия (www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html). Над територията на България се осъществява адвекцията предимно на студен сух въздух от север. Средноденоношните температури на летище Бургас са по-ниски от нормалните, а средното атмосферно налягане е над нормата – 1020.2 hPa през октомври и 1026.7 hPa през ноември. Валежите през ноември 2011 г са само около 1 % от нормата (www.stringmeteo.com/synop/bolc_map.php).

Максимумът на случаите с мъгла на летище Бургас е през 2014 и 2010 години. През 2010 г. с най-много мъгли е бил ноември, когато над Средиземноморието често се формират циклони, преминаващи над територията на страната. Средномесечното атмосферно налягане в Бургас за ноември 2010 г. е под нормата – 1013.6 hPa, а средномесечната температура е с около 4 °C над нормата и преобладаваща е била адвекцията на топъл и влажен въздух от югозапад и юг (www.stringmeteo.com/synop/bolc_map.php; www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html; www.wetter3.de/Archiv/archiv_ukmet.html). През цялата 2010 г. преобладават адвективните мъгли (фиг. 2). Няколко случая на мъгли през 2014 г. са по-подробно разгледани в следващия раздел.

На фиг. 3 е представена хистограма на месечното разпределение на мъглите над летище Бургас за периода 01.01.2008 – 11.09.2014 г. Не се наблюдава образуване на мъгли през летните месеци – от юни до август. Най-чести са мъглите през януари, февруари и ноември. Голям е броят на мъглите и през март, април, октомври и декември. Тези резултати в общи линии съответстват на тези представени от Годев (1976) за вътрешните райони на страната, но има и някои разлики. В изследването на Годев (1976), честотата на мъглите е максимална през ноември, следвана от януари, декември и февруари, като максимумите са много добре изразени. В настоящото изследване е съществен и броят на мъглите през март, и април. Анализът на данните показва, че най-често срещаната причина за образуване на мъгли над летище Бургас през март е адвекцията на топъл и влажен въздух от юг. През март температурата на повърхностните води на Черно море обикновено е по-ниска от тази на височината на метеорологичната клетка и при адвекция от морето рядко се образуват мъгли. През април средната температура на въздуха на 2 m височина е почти колкото тази на морската вода и мъгли се формират при адвекция от юг или от изток, и радиационно охлаждане на въздуха през нощните часове.

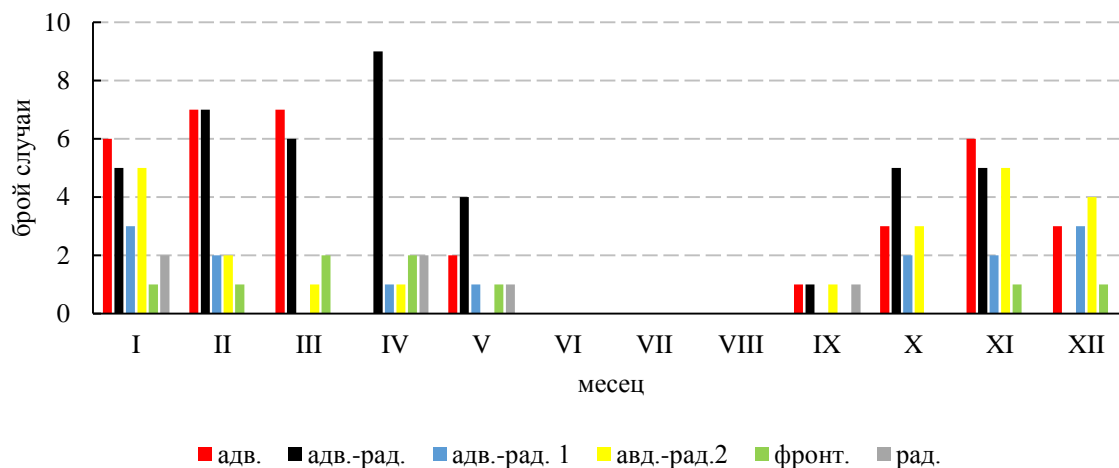


Фиг. 3. (18) Месечно разпределение на броя на мъглите над летище Бургас, за периода 01.01.2008 – 11.09.2014 г.

Резултатите за разпределението по месеци на мъглите над летище Бургас от настоящото изследване, се съгласуват по-добре с тези от работата на Иванов (1993). И

тук обаче, има известно разминаване, доколкото според (Иванов, 1993) максимумът на броя на мъглите е през декември. Причина за това несъответствие най-вероятно са късите периоди на изследване.

На фиг. 4 е представено месечното разпределение на различните типове мъгли над летище Бургас. Адвективните мъгли над летището са най-чести през януари, февруари, март и ноември, като през тези месеци те са и преобладаващия тип мъгли. Единствено през месец април не са регистрирани чисто адвективни мъгли.



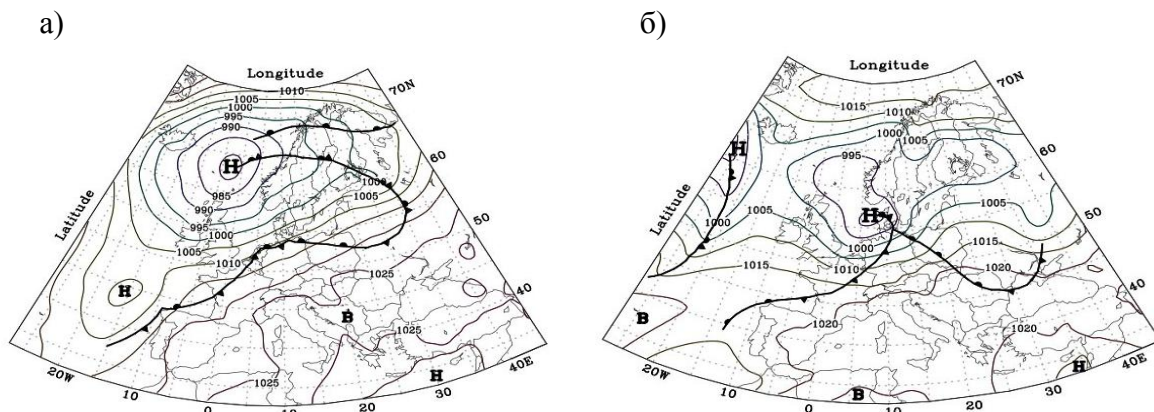
Фиг. 4. (20) Разпределение на типовете мъгла над летище Бургас по месеци, за периода 01.01.2008 - 11.09.2014 г.

Адвективно–радиационните мъгли са най-много през април, но преобладават и през май, и октомври. Адвективно–радиационните от 1^{-ви} тип са най-чести през декември и януари, но техният брой е винаги по-малък или равен на този от 2^{-ри} тип. Адвективно–радиационните от 2^{-ри} тип имат максимум през ноември и януари, а са преобладаващ тип мъгла през декември. Фронтални мъгли се формират по 1-2 пъти месечно с изключение през октомври и ноември. Чисто радиационните мъгли са най-малко на брой и през разглеждания период са се образували по два пъти през януари и април.

III.4. ТРИ СЛУЧАЯ НА ОБРАЗУВАНЕ НА МЪГЛИ НАД ЛЕТИЩЕ БУРГАС

Най-чести са мъглите над летище Бургас през януари, като през разглеждания период за този месец най-много случаи с мъгла е имало през 2008 и 2014 г. (6 и 5 сл.), затова ще анализираме три случая с мъгла от тези години.

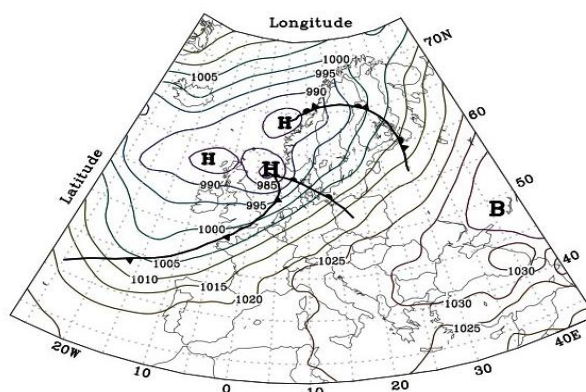
Първият случай е адвективната мъгла на 08.01.2014 г. На фиг. 5а е представена карта на приземното налягане в 00 UTC на 08.01.2014 г.



Фиг. 5. (21, 22) Карти на приземното барично поле: а) на 08.01.2014 г. в 00 UTC, б) на 09.01.2014 г. в 12 UTC.

Синоптичната обстановка над територията на България (фиг. 5а) е обусловена от разрито барично поле от антициклонален тип. На северозапад от страната ни е разположен оклюдиращ атлантически циклон. На ниво 500 hPa, над южните райони на страната е разположена северната част на бавноподвижен средиземноморски циклон, с приземен център южно от България. В интервала от 02:00 до 09:30 UTC на 08.01.2014 г. приземният вятър се преориентира от SW-W със скорост 2 m s^{-1} и на летище Бургас се формира адвективна мъгла. След временно подобрене на видимостта от димка, от 13:30 UTC до 23:30 UTC отново се установява адвективна мъгла, която след 23:30 UTC на 08.01 преминава в адвективно-радиационна и се вплътнява. На фиг. 5б е представена карта на приземното налягане на 09.01.2014 г, 12:00 UTC. От нея се вижда, че над територията на страната ни се е формирала барична седловина. На северозапад от България е разположен атлантически циклон, а на югоизток – депресия. Анализът на поредицата синоптични карти от 08.01 и 09.01 (www.wetterzentrale.de; www.ecmwf.int; www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html) показва, че се е осъществила регенерация на оклюдиращия дълбок циклон с център между Исландия и Скандинавския полуостров (фиг. 5а), осъществена от бързото придвижване на североизток на вторичния циклон, с център западно от Пиренейския полуостров. За около 36 часа вторичният циклон заема мястото на стария бавноподвижен запълващ се циклон, но центърът му е с около 1000 km южно. При това се активизират атмосферните фронтове и територията на България се оказва в топлия сектор на задълбочаващия се млад циклон (Зверев, 1977). След 14 UTC на 09.01 до 08 UTC на 10.01. над летището се формира адвективно-радиационна мъгла от 1^{ва} тип по (Годев, 1976). След 08:30 UTC на 10.01 настъпва рязко подобрене на видимостта, вследствие засилването на вятъра от SW / W - страната ни попада в барична долина.

Последният случай е формирането над летище Бургас на адвективно-радиационна мъгла от 2^{ва} тип по Годев (1976), която се е задържала близо седмица и е предизвикала съществени проблеми при изпълнение на полетите. Най-продължителният период с мъгла без прекъсване е от 15 UTC на 10.01.2008 до 11 UTC на 12.01.2008 г. На 10.01.2008 г. след 15 UTC се образува адвективно-радиационна мъгла от 2^{ва} тип. Синоптичната обстановка е представена на фиг. 6.



Фиг. 6. (23) Карта на приземното барично поле на 10.01.2008 г. в 18 UTC.

България попада в SW –та част на обширен антициклон, с център над Североизточна Русия, а над Северозападна Европа е разположен циклон (фиг. 6). Във височина на 500 hPa е разположен висок баричен гребен, а на по-ниските нива от NW/W се осъществява адвекция на по-топъл и сух въздух, което благоприятства създаване на приземни и приповдигнати инверсии. Синоптичната обстановка остава почти без промяна през следващите два дни. На 11.01 на летището се образува обледяваща адвективно–радиационна мъгла от 2^{-ри} тип по Годев. На 12.01, след временно подобрене на видимостта от димка, в 17:30 UTC отново се установява обледяваща мъгла, която се задържа и на 13.01. След 00:30 UTC на 14.01. мъглата дисипира до димка, като причината е приближаващ към страната ни топъл фронт на средиземноморски циклон, който води до нахлуване от WSW на по-топъл въздух и до поява на плътна ниска облачност.

ГЛАВА IV. МЕТОДИ ЗА ПРОГНОЗА НА РАДИАЦИОННИ МЪГЛИ НАД ЛЕТИЩЕ БУРГАС

IV.1. УВОД

Един метод за прогноза на мъгли, разработен и верифициран за определен район, не може със същия успех да бъде приложен директно, и за друг (COST 722, 2003). Затова за успешна прогноза на мъгли, често се разчита на професионалния опит на местните метеоролози и използването на редица емпирични правила.

Първата цел на настоящото изследване е да се провери дали разработената от Saunders (Saunders, 1950) техника за прогноза на радиационни мъгли, може да бъде успешно приложена за прогноза на мъгла на летище Бургас. Основен проблем за използване на метода, е липсата на представителен аерологичен сондаж за летището, като за решаването му в настоящата работа са ползвани прогностични аерологични сондажи от числен модел за прогноза на времето (www.ready.noaa.gov) и данни от преки измервания на летището (www.ogimet.com). Периодът на изследването е 01.01.2010-01.05.2015 г. с регистрирани 112 случая (дни) с мъгла, с доминиращи радиационни фактори, като за тях е направен опит да се приложи методът на Saunders, като се използвани данните за температурата и точката на оросяване от локалния числен модел ALADIN, разработен от колектив на НИМХ към БАН. В последната част на работата са приведени няколко случая, за които методът на Saunders, не води до удовлетворителни резултати.

Втората цел на настоящото изследване е, да се провери дали техниката на Saunders (Saunders, 1950), за прогноза на радиационни мъгли, дава „фалшиви аларми“. „Фалшиви аларми“ са случаите, при които техниката на Saunders прогнозира мъгла, но реално

такава не се е формирала над летище Бургас. За целта са изследвани са 43 случая (дни) от 2014 г., за месеците с най-голяма честота на формиране на мъгла на летището - януари, февруари, март, ноември и декември.

Третата цел е, да се изследва приложимостта на метода на Saunders, за прогноза на температурата на разсейване на мъглата. Анализирани са 38 ситуации (дни) с мъгла от 2014 г.

Направена е проверка дали емпиричният индекс *FOGSI*, може да се използва, като допълнително средство при изготвяне на прогноза на радиационна мъгла за летище Бургас. Индексът е пресметнат за 40 случая (дни) с мъгла от 2014 г. За 43 обстановки (дни) от тази година, при които не се е формирала мъгла, е направена проверка на *FOGSI* за „фалшиви аларми“ - това са случаите, при които индексът дава вероятност за мъгла, но такава не се е образувала на летището.

IV.2. ПРЕДВАРИТЕЛЕН АНАЛИЗ

За определяне на броя на случаите с мъгла на летище Бургас, през разглеждания период от 01.01.2010 г. до 01.05.2015 г., са използвани редовните авиометеорологични съобщения METAR.

След изключването на фронталните мъгли, регистрираните през разглеждания период мъгли от радиационен и адвективно-радиационен тип на летище Бургас са 112. В предишни изследвания (Иванов, 1993; Топузова & Рачев, 2015) е стигнато до заключение, че преобладаващите мъгли на летището са от адвективно-радиационен тип (47–61 %) и само малка част от тях са от чисто радиационен тип (4–5 %). Това разделяне по типове мъгли е направено по анализ на синоптичните обстановки, водещи до формиране на мъглите (Иванов, 1993; Топузова & Рачев, 2015), а не по анализ на причините за образуването им. Както е добре известно (Богаткин, 2010), факторите за формирането на мъглата действат съвместно и затова в повечето случаи е трудно да се идентифицира водещия от тях. В настоящата работа се приема, че радиационните фактори участват при формирането на мъгла във всичките 112 случая и те са подложени на анализ по метода на Saunders. Това предположение е оправдано в светлината на по-нататъшните резултати, които показват, че най-големите разминавания между прогнозираната и реалната температура на падане на мъглата, са обикновено при доминация на адвективния фактор.

Методът на Saunders изисква данни от аерологичен сондаж в мястото на прогнозата, но такъв на летище Бургас не се прави. Затова има две възможности - да се използва сондажът на най-близката синоптична станция или данните за станцията на прогнозата, от числен модел за прогноза на времето. Markova и Mitzeva (2011) демонстрират, че за територията на Северна България могат да се използват с еднакъв успех, както аерологичните сондажи от Букурещ (Румъния) (<http://weather.uwyo.edu>), така и прогностичните сондажи от глобалния модел GFS (www.ready.noaa.gov). В настоящата работа са използвани аерологичните сондажи в 12 UTC от Истанбул (Турция) (<http://weather.uwyo.edu>) и архивни прогностични данни от модела GFS (www.ready.noaa.gov). При избора на представителен аерологичен сондаж на атмосферата за 12 UTC, са разгледани следните четири варианта: 1) сондаж на атмосферата от Истанбул; 2) сондаж на атмосферата от Истанбул, но модифициран с приземните температура и точка на оросяване от сведението METAR, за 12 UTC на летище Бургас; 3) прогностичен сондаж за летище Бургас от модела GFS и 4) прогностичен сондаж за летище Бургас от модела GFS, но модифициран с приземните температура и точка на оросяване, от сведението METAR за 12 UTC за летището.

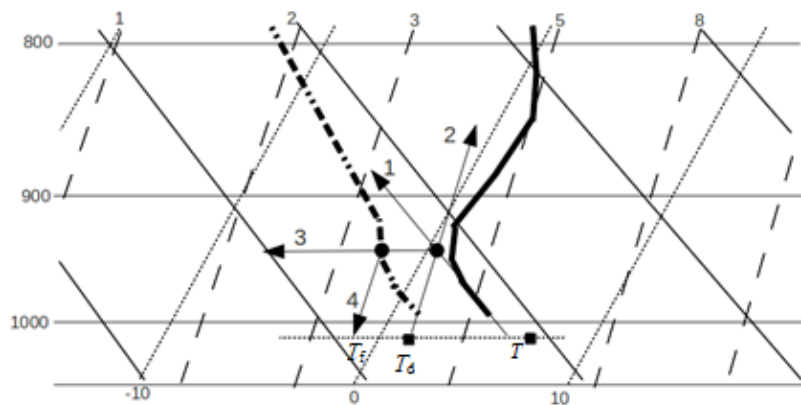
След прилагане на метода на Saunders, за прогноза на температурата на точката на мъглата (T_f), последната е сравнена с наблюдаваната температура при формиране на мъгла на летище Бургас (T_{fog}). При необходимост са използвани модификации на метода от I и II тип. След сравнението за пет произволно избрани случая с радиационна или адвективно-радиационна мъгла над летището от 2014 г., се стига до следните изводи. Най-големи разлики между ($T_f - T_{fog}$) има при използването на аерологичния сондаж от Истанбул, като те намаляват след замяната на приземните температура и точка на оросяване, с тези от Бургас. Най-малко е средното отклонение $T_f - T_{fog}$, при използване на модифициран при земята прогностичен сондаж на GFS. Тези изводи са в съответствие и с резултатите от предишни изследвания (Markova & Mitzeva, 2011).

Разгледани са петте месеца с голяма честота на формиране на мъгла – януари, февруари, март, ноември и декември, като за този период са изключени фронталните мъгли. За 2014 г. са идентифицирани 40 ситуации с мъгла на летището от радиационен и адвективно-радиационен тип и 43 случая, с благоприятни условия за мъгла, но без тя да се формира. Разгледани са и 38 случая на разсейване на радиационни и адвективно-радиационни мъгли. За всички случаи е приложена методиката на Saunders. Тя изисква представителен сондаж на атмосферата от 12 UTC за станцията при определяне температурата на формиране и от 00 UTC при определяне на температурата на разсейване. За целта се ползват архивните моделни сондажи за летище Бургас на глобалния числен модел GFS (www.ready.noaa.gov). Те се модифицират с приземната температура и точка на оросяване или температурата преди изгрева на Слънцето, взети от сведенията METAR за Бургас. След разработване на тефиграмата, се получава прогностичната температура на точката на мъглата, която е сравнена с реалната такава от сведението METAR, при която се е формирала / дисипирала мъглата.

IV.3. РЕЗУЛТАТИ

IV.3.1. МЕТОД НА SAUNDERS И НЕГОВИТЕ МОДИФИКАЦИИ ЗА ПРОГНОЗА НА ТЕМПЕРАТУРА НА ТОЧКАТА НА МЪГЛАТА

Прилагането на метода на Saunders е демонстрирано на фиг. 7, за една конкретна ситуация с мъгла на летище Бургас, формирала се на 07.02.2014 г., преди изгрева на Слънцето. Плътните линии на тефиграмата са прогностичния сондаж на числения модел GFS за 12 UTC на 06.02.2014 г. Използваната версия на модела GFS е с хоризонтална разделителна способност от $1^\circ \times 1^\circ$ и е невъзможно да опише добре орографските особености на разглеждания район, и съответно да прогнозира добре приземните температура и точка на оросяване. На фиг. 7 се вижда, че кривите на T и T_d са с начало малко над изобара 1000 hPa. Първоначалната модификация на тефиграмата се състои в определяне на изобарното ниво на станцията, по данни от измерванията и нанасяне върху него на измерените в 12 UTC на летище Бургас температура, и точка на оросяване от сведението METAR. Това са точките $T=7^\circ\text{C}$ и $T_d=1^\circ\text{C}$. От кривата на стратификацията веднага се забелязва, че вертикалният температурен градиент при земната повърхност е по-голям от адиабатния. Очевидно е, че се налага модификация на диаграмата от Γ^{BH} тип, т.е. да се използва участъка от кривата на стратификация над свръхадиабатния (фиг. 7). В крайна сметка модифицираната процедура на Saunders дава $T_f = -1^\circ\text{C}$. Точно толкова е и измерената температура на формиране на мъглата T_{fog} .



Фиг. 7. (24) Прогноза на температурата на точката на мъглата по метода на Saunders по сондаж от 06.02.2014 г., 12 UTC. Непрекъснатите хоризонтални линии са изобари, непрекъснатите наклонени линии са сухи адиабати, прекъснатите линии са изограми, наклонените пунктирани линии са изотерми, хоризонталната пунктирана линия е изобарата за летище Бургас. Дебелата непрекъсната начупена крива е кривата на стратификацията, а дебелата прекъсната крива е кривата на точката на оросяване. Аерологичната диаграма е за ниските слоеве на тропосферата (до около 800 hPa). От точка T се прекарва правата 1 успоредна на сухата адиабата, а от точка T_d се прекарва правата 2 успоредна на изограмите. Точката, където двете прави се пресичат е точката на Норманд, (ниво на кондензация). На това ниво се прекарва изобарата 3 до пресичането ѝ с кривата на T_d ; От точката на пресичане на изобарата 3 и кривата на T_d , успоредно на изограмите се прекарва правата 4 до пресичането на приземната изобара. Температурата в тази пресечна точка е температурата на точката на мъглата T_f .

Методът на Saunders е приложен за всичките 112 ситуации с радиационни и адвективно-радиационни мъгли над летище Бургас за периода от 01.01.2010 г. до 01.05.2015 г. В 54 от случаите, мъглата е паднала в ранните утринни часове и е използван прогностичния сондаж от 12 UTC на предишния ден. В останалите 58 случая, мъглата се е формирала в следобедните или вечерните часове и е използван прогностичния сондаж от 12 UTC на същия ден. В някои от случаите са прилагани модификации от I и II тип. При модификация от II тип, температурата на точката на оросяване е екстраполирана линейно във височина до ниво около 900 hPa.

Получената по метода на Saunders температура на точката на мъглата (T_f) е сравнена с реалната такава (T_{fog}), при която се е формирала мъгла според сведенията METAR. Получените резултати са представени чрез честотната табл. 3. Стълбовете на таблицата съответстват на абсолютните стойности на разликата $T_f - T_{fog}$. Нулата означава съвпадение на двете температури, единицата разминаване от 1 °C, двойката от 2 °C и т.н. В първия ред е броят на случаите със съответното разминаване на температурите, във втория - процентът от всички случаи с мъгла, а в третия - броят на случаите в проценти от общия брой с разминаване по-малко или равно на съответната температурна разлика между прогнозираната по метода на Saunders температура и температурата от сведението METAR.

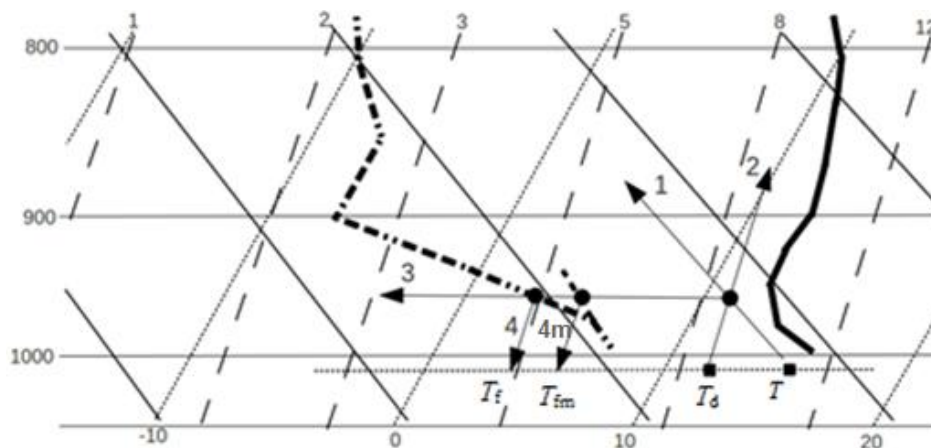
Таблица 3. (4) Класификация на случаите с мъгла по разминаването между прогнозираната по метода на Saunders и измерената от сведението METAR температура на формиране на мъглата.

$ T_f - T_{fog} $ [°C]	0	1	2	3	4	5	>5
брой	31	40	17	8	4	1	11
%	27.7	35.7	15.2	7.1	3.6	0.9	9.8
кумулятивен %	27.7	63.4	78.6	85.7	89.3	90.2	100

Както се вижда, в 31 от случаите или 27.7 % от общия брой, методът прогнозира точно температурата на формиране на мъглата. Абсолютната стойност на разликата $|T_f -$

T_{fog} е по-малка или равна на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 78.6 % от случаите. Трябва да се отбележи, че докато в 55 от случаите $T_f < T_{\text{fog}}$, то $T_f > T_{\text{fog}}$ само в 26 случая. Това показва, че прилагането на метода на Saunders върху всички случаи с мъгла над летище Бургас, има тенденция да прогнозира по-ниска температура на точката на формиране на мъглата от реално измерената. Този резултат можеше да се очаква, като се има предвид, че методът отчита предимно радиационните фактори, а както е показано в (Иванов, 1993; Топузова & Рачев, 2015) адвективните фактори имат не по-малко значение при формирането на мъглите над летище Бургас. В подкрепа на това е и факта, че всичките случаи с $|T_f - T_{\text{fog}}| > 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ са при $T_f < T_{\text{fog}}$.

За изясняване на причините, поради които в 14.3 % от случаите методът на Saunders не води до удовлетворителни резултати, са анализирани синоптичните обстановки в 16 от случаите с $T_{\text{fog}} - T_f > 4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Един от тези случаи е от 09.11.2013 г., показан на фиг. 8. Прилагането на метода на Saunders с използване на измерените T и T_d дава температура на точката на мъглата $T_f = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$. При модифициране на метода от II тип (много сух въздух във височина), определената температура на точката на мъглата е $T_{\text{fm}} = 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (фиг. 8). Тази температура се различава значително от фактичката температура на формиране на мъглата $T_{\text{fog}} = 11\text{ }^{\circ}\text{C}$. За конкретния случай се оказва, че е по-добре да се приложат препоръките на UK Met Office (Met Office College, 2009), според които, при наличие на приповдигната инверсия е желателно да се предположи $T_f = T_d$.



Фиг. 8. (25) Определяне на температурата на точката на мъглата, по метода на Saunders по сондаж от 09.11.2013 г., 12 UTC. Описанието на линиите и начупените дебели криви е както на фиг. 7 (24). Аерологичната диаграма е за ниските слоеве на тропосферата (до около 800 hPa). Прекарването на правите 1, 2, 3 и 4 е както на фиг. 24. При наличието на много по-сух въздух във височина, както се вижда от фиг. 8, стандартната процедура дава нереалистично ниска температурата на точката на мъглата. В този случай долната част от кривата на точката на оросяване се екстраполира във височина, както е показано с прекъснатата линия. След прекарването на успоредната на изограмите нова линия 4m се получава по-реалистична температура за точката на мъглата (T_{fm}).

Анализирана е синоптичната обстановка на 09.11.2013 г. от 12 UTC, при която България е разположена в югозападната част на антициклон, с център над Югозападна Русия. На ниво 500 hPa в 12 UTC, територията на България се намира между барична долина от NW, с ос Северно море – о. Сардиния, а на изток – баричен гребен от Либия до Азовско море. Въздушната маса е топла, суха, устойчиво стратифицирана с приповдигната инверсия около ниво 900 hPa. В следобедните часове настъпва бързо преустройство на баричното поле и се формира баричен гребен над Черно море и п-в Мала Азия. Приземният вятър се преориентира от изток и достига скорост около 10 m s^{-1} . Тъй като температурата на морската повърхност е по-висока от тази на сушата, мъглата се

формира от адвекцията на относително топъл и влажен морски въздух, които след стихване на вятъра в късните вечерни часове се охлажда радиационно.

Аерологичният прогностичен сондаж на 14.01.2015 г. е качествено подобен на този от 09.11.2013 г., но с още по-добре изразена приповдигната температурна инверсия в слоя 950-850 hPa и много сух въздух във височина (специфичната влажност при насищане намалява от 5 g kg^{-1} при земята до 0.4 g kg^{-1} на ниво 750 hPa). Прилагането на метода на Saunders, дава нереалистично ниска температура на точката на мъглата ($-26 \text{ }^\circ\text{C}$). Очевидно и в този случай причините за формиране на мъглата не са само радиационни, което следва и от данните от наблюденията – в 12 UTC е определена $T_d = -1 \text{ }^\circ\text{C}$, а мъглата се формира при по-висока температура $T_{\text{fog}}=1 \text{ }^\circ\text{C}$. Анализът на синоптичната обстановка на 14.01.2015 г. показва, че територията на България се намира под влиянието на антициклонално барично поле, във вечерните часове се формира баричен гребен над п-в Мала Азия, вятърът се преориентира от WSW със скорост $3\text{-}4 \text{ m s}^{-1}$. И в този случай основните причини за образуване на мъгла са адвективни.

На 30.09.2012 г. също има голямо разминаване между T_f и T_{fog} с $11 \text{ }^\circ\text{C}$. И в този случай над влажния приземен въздух е разположен по-сух въздух. Специфичната влажност при насищане намалява от 12 g kg^{-1} при земята до 4.5 g kg^{-1} на ниво 900 hPa. Територията на България попада в слабоградиентно барично поле с формиране на баричен гребен над Черно море. В следобедните часове вятърът се преориентира от изток със скорост до 10 m s^{-1} . Характерното в случая е формирането във вечерните часове на ниска слоеста облачност с височина на долната граница около 300 m. Най-вероятната причина за регистрираната на летище Бургас мъгла, е снижение на ниската облачност. В потвърждение на това е и факта, че в намиращата се на около 10 km от летището синоптична станция на НИМХ към БАН в Бургас няма регистрирана мъгла (www.stringmeteo.com/synop/bolc_map.php). В предишни изследвания е показано, че около 12 % от мъглите в Бургас се формират при снижение на ниска слоеста облачност (Иванов, 1993).

Анализът на останалите случаи с мъгла на летище Бургас с $T_{\text{fog}}-T_f > 4 \text{ }^\circ\text{C}$ показва, че и при тях преобладаващите причини за формиране на мъгла са адвективни. Най-често, наличието на много по-сух въздух във височина е причината за по-ниската температура на точката на мъглата, получена по метода на Saunders. В тези случаи, методът не води до удовлетворителни резултати и надеждното прогнозиране на мъгла изисква детайлен анализ на синоптичната обстановка. Провеждането на синоптичен анализ е наложително и при случаите на необходимост от значително предварително модифициране на прогностичния сондаж при земята, при голяма разлика между измерените и прогнозните температури.

Точността на глобалните модели за числена прогноза на времето също налагат ограничения върху използването на метода на Saunders. Използваният в настоящата работа модел GFS е с разделителна способност $1^\circ \times 1^\circ$. Използването на прогностичните сондажи от локален модел с по-добра разделителна способност, естествено е за предпочитане. Доколкото данните за температурата в съобщенията METAR са закръглени към цяло число, то това също оказва влияние върху резултатите от прилагането на метода на Saunders.

В практиката на UK Met Office (Met Office College, 2009) е прието правилото, че мъгла не може да се очаква, ако температурата на точката на мъглата е с $2 \text{ }^\circ\text{C}$ (или повече) по-висока от прогнозната минимална температура. Ако се приеме, че при настоящото изследване прогнозата е успешна при разлика до $2 \text{ }^\circ\text{C}$ между температурата на точката на мъглата и измерената температура при формиране на мъглата ($|T_f - T_{\text{fog}}| \leq 2 \text{ }^\circ\text{C}$), то в поне 78.6 % от случаите, методът на Saunders е успешен (табл. 3). В този смисъл може да се

каже, че методът е приложим при прогноза на радиационните и адвективно-радиационните мъгли на летище Бургас.

За 2017 г. за месеците октомври и ноември има регистрирани 8 дни с мъгла на летище Бургас, като два от случаите са с доминираща адвективна компонента (19.10. и 21.10). За останалите шест от тях прилагаме метода на Saunders за прогноза на температурата на формиране на мъглата, като използваме моделните сондажи на GFS с модифицирани приземни температура и точка на оросяване от модела ALADIN и ползвана минимална температура от модела ALADIN. В два от случаите (33.3 %) методът на Saunders не дава удовлетворителни резултати, но при останалите (66.7 %) прогнозира успешно температурата на точката на мъглата, като този резултат е в съответствие с този представен в табл. 3.

IV.3.1.1. ПРОВЕРКА НА МЕТОДА НА SAUNDERS ЗА ПРОГНОЗА НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА ТОЧКАТА НА МЪГЛАТА ЗА „ФАЛШИВИ АЛАРМИ“

В предходния параграф (IV.3.1) установихме, че в 78.6 % от случаите на формиране на мъгла от радиационен и адвективно-радиационен тип за летище Бургас, методът на Saunders дава надеждни резултати за температурата на точката на мъглата. В настоящия параграф продължаваме изследването, като проверяваме техниката на Saunders за температурата на точката на формиране на мъглата, за „фалшиви аларми“. За целта, за месеците с голяма честота на образуване на мъгла: януари, февруари, март, ноември и декември през 2014 г., са разработени обстановките, при които метеорологичните условия са били благоприятни, но не се е формирала мъгла.

Според UK Met Office (Met Office College, 2009) при получена разлика между прогнозираните температури на точката на мъглата и минималната ($T_f - T_{\min}$), по-малка или равна на -2°C , не може да се очаква намалена видимост от мъгла или димка. След разработване на аерологичните диаграми за летището се установява, че при 36 случая (83.7 %) $T_f - T_{\min} \leq -2^\circ\text{C}$. Само при 7 случая (16.3 %) $T_f - T_{\min} > -2^\circ\text{C}$. В този смисъл се стига до заключение, че методът на Saunders е надежно приложим при прогнозиране на радиационни и адвективно-радиационни мъгли на летище Бургас – в около 80 % от случаите прогнозира правилно температурата на точката на формиране на мъглата и не дава „фалшиви аларми“.

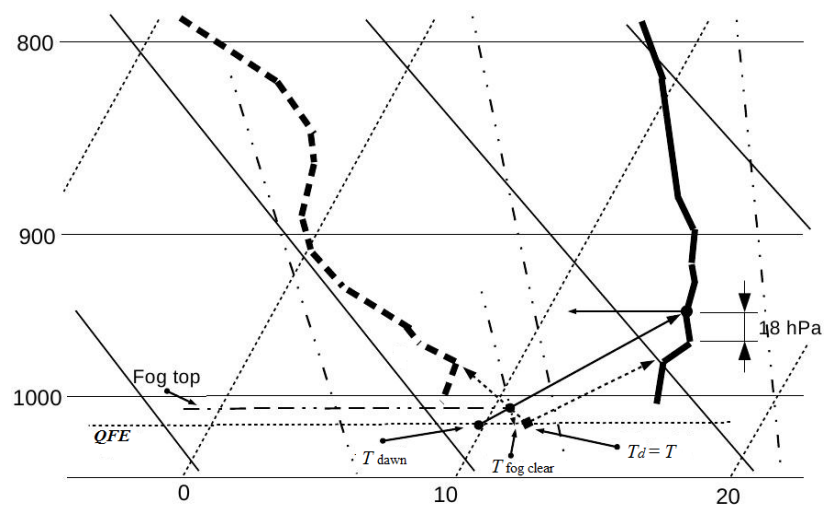
Изследвани са дните без регистрирана мъгла на летището за октомври и ноември от 2017 г. за проверка на метода на Saunders за прогноза на температурата на точката на мъглата за „фалшиви аларми“. Ползвани са моделните сондажи на GFS с модифицирани приземни температура и точка на оросяване от локалния числен модел ALADIN, както и минималната температура взета от модела ALADIN. За двата месеца разполагаме с данни за 57 дни, като за 8 от тях има регистрирана мъгла на летището. За 49-те дни без формирана мъгла, за 9 от тях (18.4 %) се получават „фалшиви аларми“. Получените резултати потвърждават успешната приложимост на прогностичния метод на Saunders за летище Бургас.

IV.3.2. МЕТОД НА SAUNDERS ЗА ПРОГНОЗА НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА РАЗСЕЙВАНЕ НА МЪГЛАТА

Методът на Saunders, за прогноза на температурата на разсейване на мъглата $T_{\text{fog clear}}$, е приложен за 38 случая с мъгла, на летище Бургас за 2014 г. За представителен сондаж на атмосферата, се използва моделен сондаж за летището на глобалния числен прогностичен модел GFS от 00 UTC. Численият модел е с хоризонтална разделителна способност от $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, и е невъзможно да опише добре орографските особености и съответно да прогнозира добре приземното налягане и температури. Затова тефиграмата се модифицира, с нанасяне на измереното в станцията налягане, приземните температура,

точка на оросяване и температура при изгрева на Слънцето (T_{dawn}), взети от сведенията METAR за летище Бургас от 00 UTC. Тези стъпки са в съответствие с резултатите, от предишните два параграфа.

На фиг. 9 е представена ситуация на летище Бургас с мъгла, формирала се на 08.11.2014 г. в 17:30 UTC. Плътните линии на диаграмата са моделния сондаж на числения модел GFS за 00 UTC на 09.11.2014 г. Според сведенията METAR, на летището има мъгла и $T=T_d=11^\circ\text{C}$. От наблюденията на летището е определена $T_{\text{dawn}}=10^\circ\text{C}$. В 00 UTC над станцията има плътна слоеста облачност с долна граница 90 m (небето не се вижда), има добре изразена приземна инверсия и е необходимо прилагането на модификация В на техниката на Saunders. Поправката за месец ноември е $\Delta p=18\text{ hPa}$. Следвайки стъпките, описани в параграф IV.2, се получава температура на разсейване на мъглата $T_{\text{fog clear}}=10.7^\circ\text{C}$. Реалната температура на дисипиране на мъглата от сведенията METAR е $T_{\text{clear}}=10^\circ\text{C}$.



Фиг. 9. (30) Прогноза на температурата на разсейване на мъглата по метода на Saunders по сондаж от 09.11.2014 г., 00 UTC. Прекъснатата линия с точки е влажната адиабата, а описанието на линиите и начупените дебели криви е както на фиг. 3.

Анализът на синоптичната обстановка на 08.11.2014 г. показва, че формиралата се мъгла над летище Бургас е адвективно-радиационна. В следобедните часове на 08.11.2014 г. е имало адвекция на по-влажен въздух от ENE и е наблюдавано снижение на долната граница на облачността. Последвалото радиационно охлаждане води до създаването на приземна инверсия на температурата и допринася за усилването на мъглата. Във височина е разположен по-топъл и сух въздух и разликата между кривите на стратификация и точката на оросяване нараства (фиг. 9).

Методът на Saunders, е приложен за всички случаи с радиационни и адвективно-радиационни мъгли над летище Бургас за 2014 г. Получената температура на разсейване на мъглата ($T_{\text{fog clear}}$), е сравнена с реалната такава (T_{clear}), при която е дисипирала мъглата, по данни от сведенията METAR. При 28 от случаите (73.7 %) методът прогнозира успешно температурата, при която мъглата ще се разсее. Само при 10 ситуации (26.3 %) резултатите не са удовлетворителни (табл. 4).

Таблица 4. (б) Класификация на случаите с мъгла за 2014 г., по разминаването между прогнозираната по метода на Saunders и измерената от сведението METAR температура на разсейване на мъглата.

$ T_{\text{fog clear}} - T_{\text{clear}} $ [°C]	0	1	2	3	неприложим
брой	5	11	12	3	7
%	13.2	28.9	31.6	7.9	18.4
кумулятивен %	13.2	42.1	73.7	81.6	100

За 10 от ситуациите, при които техниката на Saunders не прогнозира успешно дисипирането на мъглата може да се каже, че при 7 от тях тя не може да бъде приложена, поради факта, че температурата при изгрева на Слънцето е по-висока от температурата на точката на оросяване в 00 UTC ($T_{\text{dawn}} > T_d$). Очевидно, при тези случаи причина за разсейването на мъглата не е радиационното нагриване от Слънцето, а адвекция на потопъл въздух.

Трите случая, при които разликата $|T_{\text{fog clear}} - T_{\text{clear}}| = 3$ °C са на 14.01., 20.04. и 07.11. 2014 г. В първия и втория случай доминираща е адвективната компонента, както при формирането, така и при дисипирането на мъглата, затова приложеният метод на Saunders не прогнозира успешно температурата на разсейването ѝ. В третия случай моделният сондаж е от 00 UTC и не отразява последвалите адвективни процеси.

За прилагане на метода на Saunders в оперативната практика на Единния прогностичен център към Държавно предприятие „Ръководство на въздушното движение“ е предвидено да се използват данни и прогностични сондажи от модела ALADIN. Закупени са специализирана техника и софтуер, които предстои да бъдат внедрени в оперативната практика на авиометеоролозите за автоматично генериране на температурата на точката на мъглата по метода на Saunders, както и много други параметри.

IV.3.3. FOGSI, КАТО КРИТЕРИЙ ЗА ФОРМИРАНЕ НА РАДИАЦИОННА МЪГЛА И ПРОВЕРКА НА ИНДЕКСА ЗА “ФАЛШИВИ АЛАРМИ”

В оперативната практика на метеоролозите се използват различни емпирични индекси, оценяващи вероятността за формиране на мъгла, като често прилаган е *FOGSI*. Той се изчислява по формулата (Dejmal & Novotny, 2011; Holtslag et al., 2010; Wantuch, 2001; Science Plan-Forecast Demonstration Project – Fog, 2011; Laskar et al., 2013):

$$FOGSI = 2 |T_{\text{sfc}} - T_{850}| + 2 (T_{\text{sfc}} - T_{d \text{ sfc}}) + W_{850},$$

където: T_{sfc} е приземната температура в °C; $T_{d \text{ sfc}}$ е приземната температура на точката на оросяване в °C; T_{850} е температура на ниво 850 hPa в °C; W_{850} е скоростта на вятъра на ниво 850 hPa във възли.

Стойностите на индекса *FOGSI* могат да бъдат използвани, като допълнителен критерий при оценка на вероятността за формиране на радиационни мъгли на летище Бургас. Индексът е пресметнат за 40-те случая с мъгла и за 43-те случая без мъгла на летището през 2014 г. Случаите с мъгла над летище Бургас през 2014 г. са разделени на три групи, според причините за формирането им: радиационни (12); адвективно-радиационни с доминиращ радиационен фактор (18); адвективно-радиационни с доминиращ адвективен фактор (10). Установено е, че стойността за всички радиационни мъгли е $FOGSI \leq 39.1$, а за всички адвективно-радиационни с доминиращ адвективен фактор е $FOGSI \geq 40.6$. В настоящото изследване, е приета критична стойност на индекса $FOGSI = 41$. Тази стойност е с 6 единици по-голяма от приетата в изследването на други автори (Science Plan-Forecast Demonstration Project – Fog, 2011). Причината за избора на

тази стойност, е необходимостта от отчитане на локалните условия, от които на първо място е наличието на бризова циркулация, водеща до увеличаване стойността на *FOGSI*, особено през пролетните месеци. Трябва да се има предвид и факта, че оценките в предишното изследване (Science Plan-Forecast Demonstration Project – Fog, 2011) са направени по едночасови данни, а в настоящото изследване се пресмята стойността на индекса в 12 UTC. Това е една от причините и за по-високата минимална стойност на *FOGSI* в настоящото изследване (17.8), докато в (Science Plan-Forecast Demonstration Project – Fog, 2011) е 2.5.

При използване на критична стойност за *FOGSI* = 41, индексът успешно може да се приложи за прогноза на мъгла в 72.5 % от случаите. Ако се изключат адвективно-радиационните мъгли с доминиращ адвективен фактор, този процент нараства на 86.

За регистрираните 43 случая през 2014 г., в които мъгла не се е формирала, е изчислен индекса *FOGSI* с цел да бъде направена проверка за „фалшиви аларми“. При 25 от случаите (58.1 %), стойността на индекса е над критичната. Това са случаи с адвекция на сух (в повечето случаи топъл) въздух. В 16 от 18^{-те} случая, при които стойността на *FOGSI* е под критичната стойност, причината за невъзможността да се формира мъгла е наличието на плътна облачност. При комбинираното използване на стойностите на *FOGSI* и данните за облачността, е възможно съществено намаляване броя на т. нар. „фалшиви аларми“ за формиране на мъгла.

IV.3.4 МЕТОД НА МЕДЖИТОВ ЗА ПРОГНОЗА НА ЧАСА НА ФОРМИРАНЕ И РАЗСЕЙВАНЕ НА РАДИАЦИОННА МЪГЛА

От съществено значение за авиометеоролозите е прогнозата на часа на формиране и на разсейване на мъглата. За оперативните цели в авиацията е необходимо използването на прости и лесни формули, за да бъдат бързо приложими. Такива са предложените от Меджитов формули за изчисляване на часа на формиране и на разсейване на радиационни мъгли (Богаткин, 2010).

В следващите две таблици (табл. 5 и табл. 6) са представени резултатите получени за часа на формиране и разсейване на адвективно-радиационни мъгли за летище Бургас, за октомври и ноември от 2017 г., по метода на Меджитов. В първата колонка на табл. 5 са датите с мъгла от двата месеца за 2017 г. Във втората - часовете в UTC на залеза на Слънцето за Бургас ($t_{з.Сл.}$). В третата колонка са реалните данни от авиометеорологичните сведенията METAR (MET) и прогностичните такива от локалния числен модел ALADIN (AL) за температурата на въздуха при залеза на Слънцето ($T_{з. Сл.}$). В четвъртата колонка е T_f – реалната температура на формиране на мъглата от сведенията METAR (MET), минималната прогностична температура от модела ALADIN - $T_{мин. (AL)}$ и $T_f (S)$ – прогностичната температура на формиране на мъглата по метода на Saunders. В петата колонка е нанесено тричасовото изменение на температурата на въздуха след залеза на Слънцето ($\Delta T_{з.Сл.}$), като тези стойности са получени от данните от синоптичните срокове на НИМХ за 2010-2016 г., пресметнати за изменението на температурата на въздуха след залеза на Слънцето за 3 часа. Разгледани са за три случая за облачността. Първи случай – облачност от 0-2/8, втори – от 3-5/8 и трети – 6-8/8 облачност. За часа на образуване на мъглата във формулата на Меджитов са използвани различни комбинации от данни: температура при залеза на Слънцето от сведенията METAR ($T_{з. Сл.}$) и температура на формиране на мъглата T_f от сведенията METAR; $T_{з.Сл}$ от модела ALADIN и минималната температура $T_{мин. (AL)}$ от модела ALADIN; $T_{з. Сл}$ от модела ALADIN и прогностичната температура на формиране на мъглата по метода на Saunders - $T_f (S)$, както и $T_{з.Сл.}$ от сведенията METAR и прогностичната температура на формиране на мъгла по метода на Saunders - $T_f (S)$. От табл. 5 се стига до заключение, че за прогноза на часа на образуване

на мъглата ($t_{\text{обр. Меджитов}}$) най-близки резултати до реалния час на формиране на мъглата се получава при използването на данни за температурата при залез Слънце ($T_{\text{з.Сл.}}$) от модела на ALADIN и прогностичната температура на формиране на мъглата по метода на Saunders ($T_{\text{f(S)}}$).

Таблица 5 (7). Час на образуване на мъглата в UTC по метода на Меджитов за летище Бургас.

Дата мъгла 2017 г.	$t_{\text{з.Сл.}}$ (UTC)	$T_{\text{з.Сл.}}$ (°C)	T_{f} (°C)	$\Delta T_{\text{з.Сл.}}$ (°C / 3h)	$t_{\text{обр. Меджитов}}$ (UTC)	$t_{\text{обр. METAR}}$ (UTC)
20.10.	15:21	МЕТ 17	МЕТ 14	-1.46	21:30	00:30
		AL 16.1	$T_{\text{мин. (AL)}}$ 13.4	-1.46	20:54	
		AL 16.1	$T_{\text{f(S)}}$ 17	-1.46	неприложим	
10.11.	14:52	МЕТ 13	МЕТ 8	-1.68	23:50	23:30
		AL 11.6	$T_{\text{мин. (AL)}}$ 6	-1.68	00:52	
		AL 11.6	$T_{\text{f(S)}}$ 6	-1.68	00:52	
13.11.	14:50	МЕТ 13	МЕТ 9	-1.68	22:00	02:30
		AL 12.9	$T_{\text{мин. (AL)}}$ 9	-1.68	21:50	
		AL 12.9	$T_{\text{f(S)}}$ 8	-1.68	23:40	
24.11.	14:41	МЕТ 10	МЕТ 6	-1.68	21:50	00:30
		AL 8.9	$T_{\text{мин. (AL)}}$ 2.8	-1.68	01:35	
		AL 8.9	$T_{\text{f(S)}}$ 4	-1.68	23:30	
25.11.	14:40	МЕТ 12	МЕТ 9	-1.68	20:00	23:00
		AL 10.8	$T_{\text{мин. (AL)}}$ 4.5	-1.68	01:55	
		AL 10.8	$T_{\text{f(S)}}$ 6	-1.68	23:16	
27.11.	14:39	МЕТ 11	МЕТ 9	-0.9	21:25	00:30
		AL 9.6	$T_{\text{мин. (AL)}}$ 8.6	-0.9	18:00	
		AL 9.6	$T_{\text{f(S)}}$ 7	-0.9	24:00	

Резултатите за прогноза на часа, при който мъглата ще се разсее по метода на Меджитов са представени в табл. 6. Във втората колонка на таблицата е даден часът на изгрева на Слънцето за Бургас ($t_{\text{изгрев Сл.}}$). В третата – температурата на точката на оросяване след залеза на Слънцето от сведенията METAR ($T_{\text{д з. Сл.}}$). В четвъртата – минималната прогностична температура от модела ALADIN ($T_{\text{мин.}}$), в петата колонка е тричасовото изменение на температурата на въздуха след изгрева на Слънцето ($\Delta T_{\text{изгрев Сл.}}$). В предпоследната – полученият по метода на Меджитов час на разсейване на мъглата ($t_{\text{разсейв. Меджитов}}$) и в последната е реалният час, при който мъглата е дисипирала според сведенията METAR ($t_{\text{разсейв.}}$).

Таблица 6 (8). Час на разсейване на мъглата в UTC по метода на Меджитов за летище Бургас.

Дата мъгла 2017 г.	$t_{\text{изгрев Сл.}}$ (UTC)	$T_{\text{д з. Сл.}}$ (METAR) (°C)	$T_{\text{мин.}}$ (ALADIN) (°C)	$\Delta T_{\text{изгрев Сл.}}$ (°C / 3h)	$t_{\text{разсейв. Меджитов}}$ (UTC)	$t_{\text{разсейв. METAR}}$ (UTC)
20.10.	04:29	15	13.4	5.51	05:20	04:30
10.11.	04:56	10	6	6.29	06:55	06:00
13.11.	04:59	11	9	4.56	06:20	04:30
24.11.	05:12	8	2.8	4.56	08:40	10:00
25.11.	05:13	10	4.5	4.56	08:50	07:30
27.11.	05:16	9	8.6	4.56	05:35	06:30

Получените резултати за прогноза на часа на разсейване на мъглата по метода на Меджитов (табл. 6) показват, че може да се използват данни от модела на ALADIN за минималната температура ($T_{\text{мин.}}$) и от сведенията METAR за летище Бургас - реалната температура на точката на оросяване при залеза на Слънцето ($T_{\text{д з. Сл.}}$).

ГЛАВА V. СИНОПТИЧНИ ОБСТАНОВКИ, ВОДЕЩИ ДО СЪЗДАВАНЕТО НА ОПАСНИ ЗА АВИАЦИЯТА УСЛОВИЯ НА ЛЕТИЩЕ БУРГАС

V.1 УВОД

Целта на изследването в тази глава е да бъде определена честотата на поява на някои опасни за авиацията метеорологични условия на летище Бургас и да бъде потърсена връзката им със синоптичните обстановки. В предишни изследвания (Топузова & Рачев, 2015; Топузова & Рачев, 2016), са анализирани мъглите на летище Бургас и затова те не са обект на настоящото изследване, явяващо се тяхно продължение. Разглежданият период е 2003-2016 г. Анализирани са някои от опасните за авиацията условия на летище Бургас: силен приземен вятър със средна скорост или пориви над 15 m s^{-1} ; вятър с опасна посока; снежни виелици и поземки; гръмотевични бури с наличие или отсъствие на валеж. Разгледана е сезонната изменчивост в появата на споменатите опасни за авиацията условия и са идентифицирани синоптичните ситуации, благоприятстващи тяхната поява.

Показано е, че съществено влияние върху метеорологичните условия на летище Бургас има придвижването на средиземноморските циклони. Анализирани са техните траектории за периода 2004-2016 г. и е направено сравнение с предишни изследвания, на пътищата на тези циклони (Киров, 1929; Писарски, 1956).

V.2. ИЗПОЛЗВАНИ ДАННИ И МЕТОДОЛОГИЯ

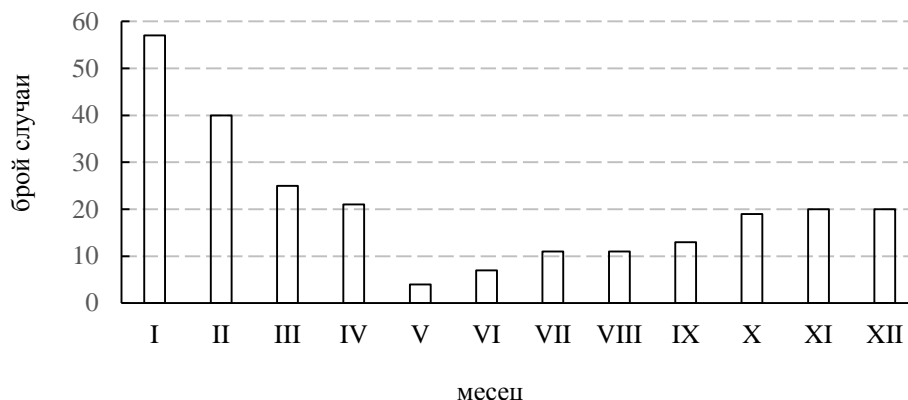
За определяне на броя на случаите със силен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$, снежни виелици / поземки или и двете явления в един и същи ден, гръмотевични бури, на летище Бургас за разглеждания период 2003-2016 г., са използвани сведенията SYNOP (2003-2004 г.) и редовните сведения METAR (2005-2016 г.).

За периода 2003-2016 г. са анализирани всяка една от метеорологичните обстановки със силен вятър (248 случая, отговарящи на брой дни) и снежна виелица или поземка (24 случая = брой дни) на летището. Честотата на гръмотевичните бури (347 случая = брой дни) и траекториите на средиземноморските циклони (555 случая) са разгледани за периода 2004-2016 г. Някои от анализите са обобщени за полугодия, които са определени както следва: топло от април до септември; и студено от октомври до март.

V.3. РЕЗУЛТАТИ

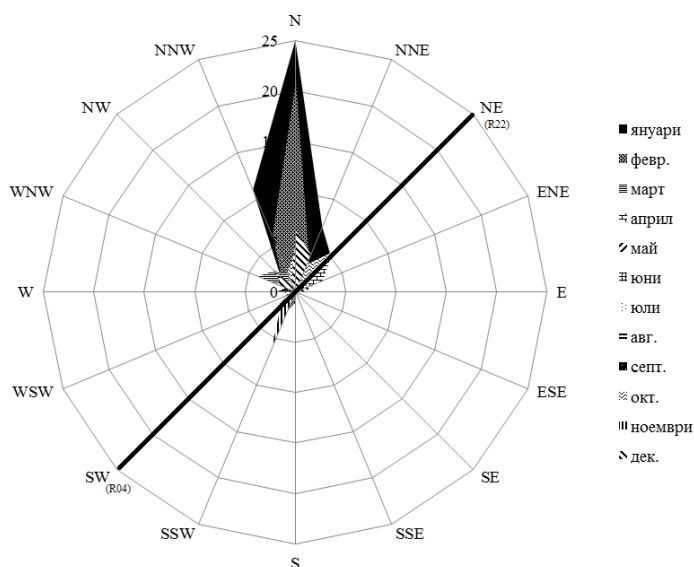
V.3.1. СИЛЕН ПРИЗЕМЕН ВЯТЪР СЪС СРЕДНА СКОРОСТ ИЛИ ПОРИВИ $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$

За периода 2003-2016 г. на летище Бургас са идентифицирани 248 случая със силен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$, като 181 от тях (73 %) са през студеното, а 67 (27 %) - са през топлото полугодие. На фиг. 10 е представено месечното разпределение на тези 248 регистрации. Най-чести са ситуацията със силен вятър през първите три месеца на годината: януари - 23 %, февруари – 16.1 % и март - 10.1 %, а най-рядко - през май и юни.



Фиг. 10. (39) Месечно разпределение на броя случаи със силен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$ на летище Бургас, за периода 2003-2016 г.

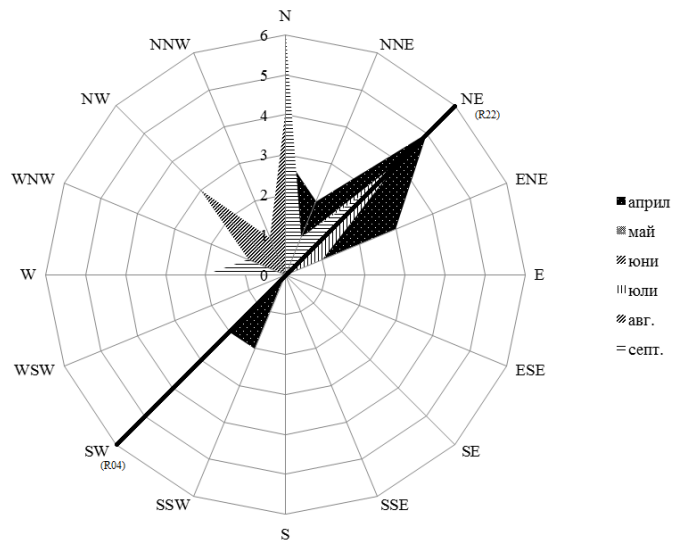
Построена е розата на силния вятър (фиг. 11) за летището за всички месеци, за периода 2003-2016 г. Установено е, че най-чести са случаите със силен вятър ориентиран от северния сектор (65.4 %), с компоненти от N (33.5 %), NE (12.1 %), NNW (10.5 %) и NNE (9.3 %).



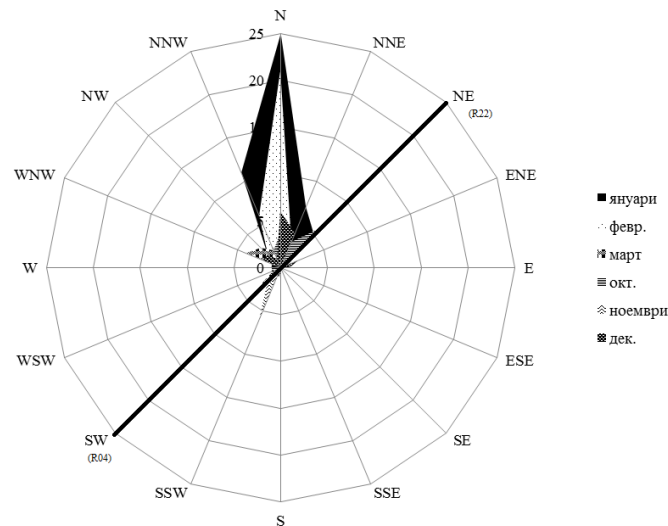
Фиг. 11. (40) Роза на силния вятър за всички месеци за летище Бургас от 2003 до 2016 г.

На фиг. 12 е представена розата на силния вятър само за топлите месеци. С плътна черна линия е изобразена ориентацията на пистата R04 и R22 (полоса R04 е ориентирана на SW, а R22 – на NE). За изследвания период със силен вятър за лятното полугодие за летище Бургас, отново доминира северният вятър (28.4 %), следван от NE (19.4 %), ENE (9 %) и NW (9 %).

За студеното полугодие на летището преобладаващият силен вятър (фиг. 13) също е от северния сектор (67 %), с компоненти от N (35.4 %), NNW (12.2 %), NNE (10 %), NE (9.4 %). При сравнението на фиг. 12 и фиг. 13 трябва да се има предвид различния брой на случаите със силен вятър през топлото и студеното полугодие.



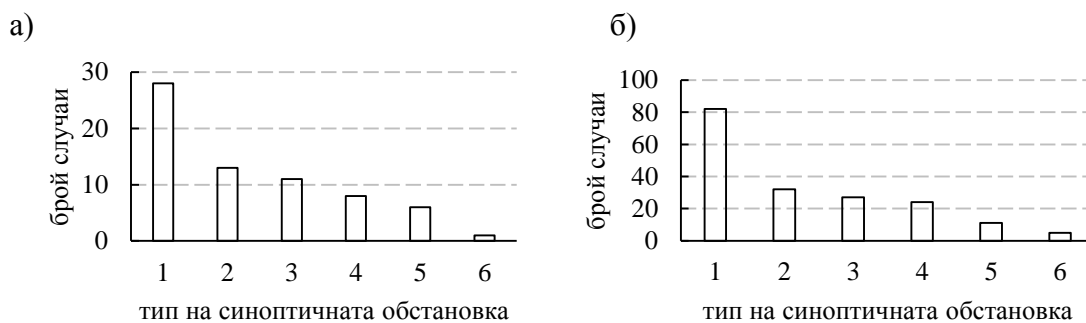
Фиг. 12. (41) Роза на силния вятър за топлото полугодие за летище Бургас от 2003 до 2016г.



Фиг. 13. (42) Роза на силния вятър за студеното полугодие за летище Бургас от 2003 до 2016г.

За летище Бургас страничен вятър е този ориентиран от NW (310°) и от SE (130°). За изследвания период от розите на вятъра се вижда, че само през топлото полугодие при 9 % от случаите силният вятър се явява едновременно и страничен за пистата.

Изследвани са синоптичните обстановки на летище Бургас за топлото и студеното полугодие, благоприятстващи появата на силен вятър, като резултатите са представени на фиг. 14. За топлото полугодие (фиг. 14а), най-честите случаи (41.8 %) са идентифицирани след преминал студен атмосферен фронт в югоизточната периферия на антициклон; или след преминал студен атмосферен фронт на циклон. За студеното полугодие (фиг. 14б), най-чести са обстановките (45.3 %) при комбинирано влияние на SE/SW (или баричен гребен от N) периферия на антициклон със средиземноморски циклон, с център разположен на SE/SW от страната; или след преминал студен атмосферен фронт в E периферия на антициклон.



Фиг. 14. (43, 44) Брой на синоптичните обстановки със силен вятър на летище Бургас, за топлото (а) и студеното (б) полугодие, за 2003-2016 г. Номерирането на синоптичните обстановки за топлото полугодие: 1) след преминал студен атмосферен фронт в SE периферия на антициклон; или след преминал студен атмосферен фронт на циклон; 2) комбинирано влияние на SE/SW периферия на антициклон и тил на средиземноморски циклон, с център на SE от страната; 3) SE/SW периферия на антициклон; 4) тил на средиземноморски циклон, с център на SE от страната; 5) термична депресия (падане на налягането по дневен ход); или слабо изразена фронтална система; 6) топъл сектор на средиземноморски циклон. Номерирането на синоптичните обстановки за студеното полугодие: 1) комбинирано влияние на SE/SW (или баричен гребен от N) периферия на антициклон и средиземноморски циклон, с център на SE/SW от страната; или след преминал студен атмосферен фронт в E периферия на антициклон; 2) топъл сектор на циклон; 3) SE/SW периферия на антициклон; 4) циклонално барично поле – след преминал студен атмосферен фронт; или топъл фронт на SW от страната; 5) тил на средиземноморски циклон, с център над Черно море; 6) оклюдиращ средиземноморски циклон над Източна България.

Съществено влияние за неблагоприятните метеорологични условия на летище Бургас, водещи до силен приземен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$, оказва придвижването на средиземноморските циклони (фиг. 14).

V.3.2. СНЕЖНИ ВИЕЛИЦИ / ПОЗЕМКИ

За изследвания период 2003-2016 г. със силен вятър на летището са регистрирани 24 дни със снежна виелица (BLSN), ниско носещ се сняг - поземка (DRSN) или и двете явления за един и същи ден. Честотата на тези явления е най-висока през януари (46 %) и февруари (42 %). След анализ на синоптичните обстановки се достига по извода, че комбинирано влияние на периферия на антициклон, с център на NNE от страната и тил на средиземноморски циклон, с център на SE от България, благоприятства образуването им. Отново се забелязва същественото влияние на придвижването на средиземноморските циклони и опасните явления, които създават на летището. За 24-те дни със снежна виелица, поземка или и двете явления е изследвана посоката на вятъра (табл. 7).

Таблица 7. (10) Посока на вятъра при дни със снежна виелица, поземка или и двете явления на летище Бургас, за периода 2003-2016 г.

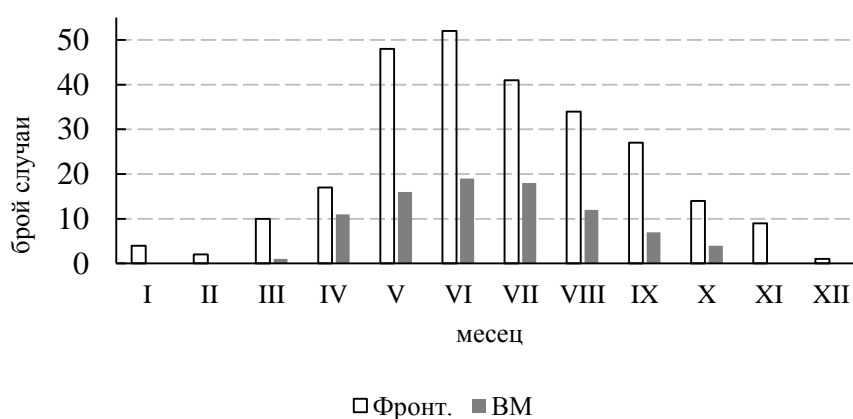
Посока на вятъра при BLSN/DRSN на летище Бургас	N	NNW	NE
брой дни	17	6	1
%	70.8	25	4.2

При всички обстановки със снежна виелица или ниско носещ се сняг, вятърът е ориентиран от северния сектор, като при 70.8 % от регистрациите доминираща е северната компонента (табл. 7).

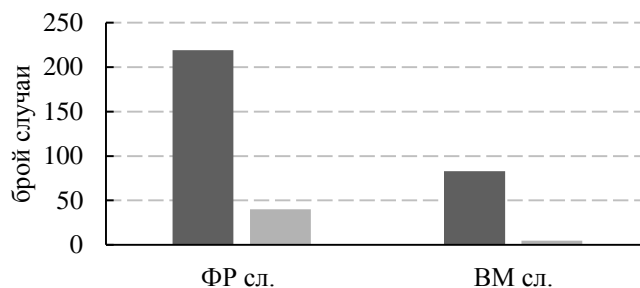
V.3.3. ГРЪМОТЕВИЧНИ БУРИ

В настоящата работа са изследвани синоптичните обстановки с гръмотевични бури за летище Бургас, от 2004 до 2016 г. Регистрирани са 347 дни, които са разделени на вътрешномасови гръмотевични бури - 88 дни (25.4 %) и фронтални – 259 дни (74.6 %).

Месечното разпределение на броя случаи с гръмотевични бури на летище Бургас (вътрешномасови и фронтални) за разглеждания период, както и разпределението им за двете полугодия, са представени съответно на фиг. 15 и фиг. 16. Ясно се вижда доминирането на фронталните бури през топлото полугодие (84.6 %), в сравнение с тези през студеното (15.4 %) и по-конкретно през месеците май (18.5 %), юни (20.1 %), юли (15.8 %), август (13.1 %) и септември (10.4 %). Вътрешномасовите гръмотевични бури, са главно през топлото полугодие (94.3 %), като през студеното са регистрирани изолирани случаи (5.7 %).

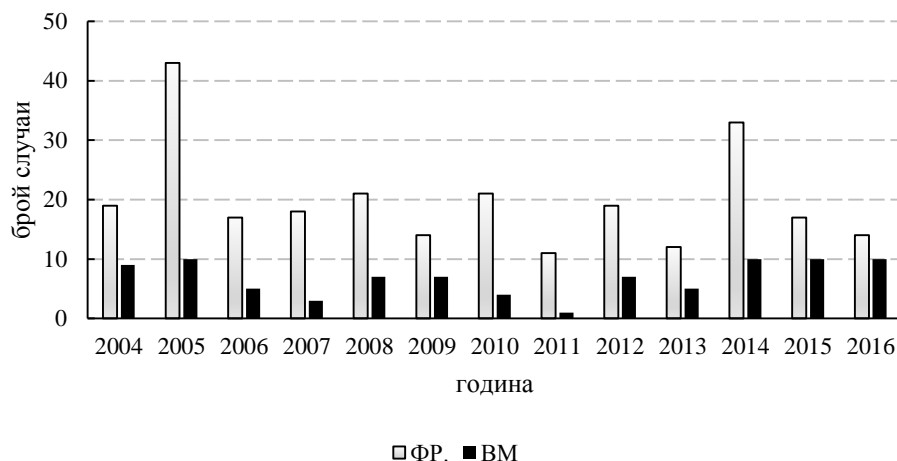


Фиг. 15. (62) Месечно разпределение на броя случаи с вътрешномасови и фронтални гръмотевични бури на летище Бургас, за периода 2004-2016 г.



Фиг. 16. (63) Брой случаи с вътрешномасови и фронтални гръмотевични бури на летище Бургас за топло (тъмносив цвят) и студено (светлосив цвят) полугодие, за периода 2004-2016 г.

Броят на дните, съответстващ на броя на случаите с гръмотевични бури през разглеждания период, е представен на фиг. 17. Очевидна е значителна междугодишна изменчивост на броя на регистрираните гръмотевични бури на летище Бургас, като най-много те са били през 2005 и 2014 г. За всяка една от годините, броят на фронталните гръмотевични бури е съществено по-голям от броя на вътрешномасовите.

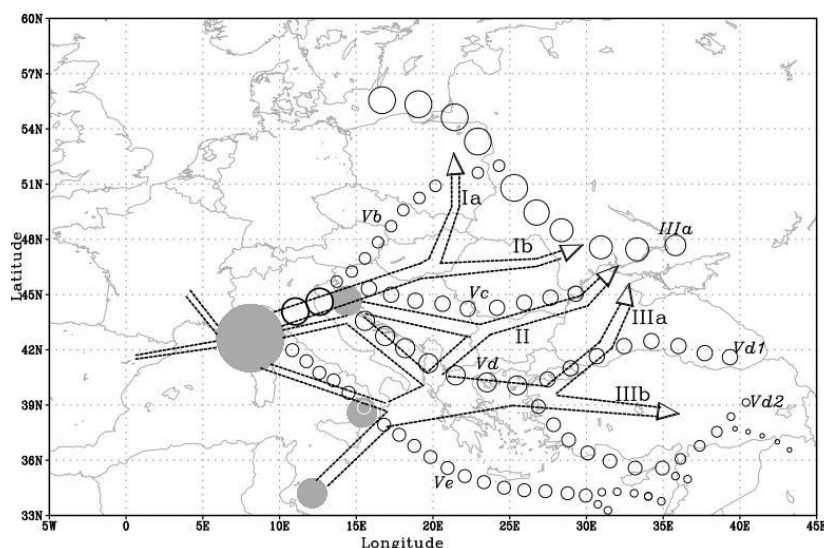


Фиг. 17. (64) Годишно разпределение на броя случаи с вътрешномасови и фронтални гръмотевични бури на летище Бургас, за периода 2004-2016 г.

V.3.4. ТРАЕКТОРИИ НА СРЕДИЗЕМНОМОРСКИТЕ ЦИКЛОНИ

От особено климатично и прогностично значение за България, са така наречените “пътища на средиземноморските циклони”, чиито траектории преминават през или са в близко съседство на страната ни.

Първото изследване на пътищата на средиземноморските циклони е представено от Киров (1929). Използвани са означения на пътищата в близост до територията на България, предложени от други автори (*IIIa, Vb, Vc, Vd1, Vd2*, наклонен шрифт на фиг. 66). Писарски (1956) прави прецизна и професионална оценка на зараждането и придвижването на средиземноморските циклони, като идентифицира пет пътя: Ia, Ib, II, IIIa, IIIb (фиг. 18).

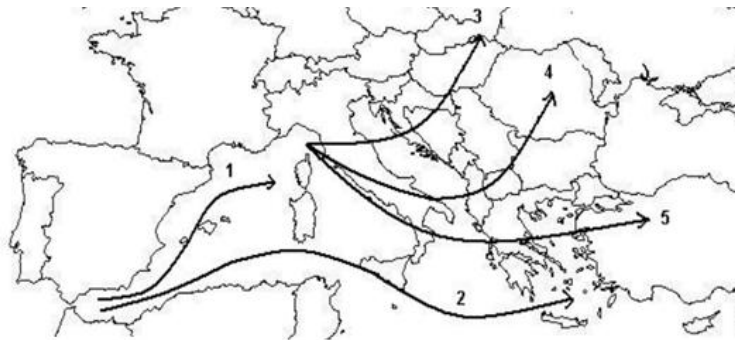


Фиг. 18. (66) Главни пътища на барометричните минимума по Киров (1929) (окръжности) и зони на образуване (сиви кръгове) и пътища на средиземноморските циклони по Писарски (1956) (стрелки). Авторска репродукция по оригиналните схеми на (Киров, 1929) и (Писарски, 1956).

Според класификацията на Писарски (1956), циклоните преминаващи по път I се зараждат в района на Генуезкия залив или над Адриатическо море. Този път е ориентиран на североизток и се разделя на два клона, съответно през Унгария до Полша (Ia) и до Украйна (Ib). Циклоните с траектория по път II, се придвижват през територията на България и стигат до северозападните части на Черно море. Средиземноморските циклони по път III, преминават през Гърция и Егейско море. Път III се разделя на два клона; първият от тях (IIIa) е през Мраморно и Черно море, а вторият (IIIb) - през Мала Азия на изток-югоизток.

От фиг. 18 може да се направи следното приблизително съответствие между пътищата на циклоните по Писарски (1956) и Киров (1929): път II почти съвпада с път Vc; път III е подобен на път Vd и съответно IIIa и IIIb са подобни на Vd1 и Vd2, като последните са отместени в южна посока; пътища Ia и Ib са подобни на траекторията Vb, но последната е отместена на север. Придвижването на средиземноморските циклони по тези траектории оказва съществено влияние на времето в България.

Екип от български учени, извършват изследване на траекториите на средиземноморските циклони за периода 1990-2001 г., за студеното полугодие (октомври-март) (Bocheva et al., 2007). Авторите обединяват баричните депресии движещи се по път Ia и Ib в път I, а тези по път IIIa и IIIb в път III (фиг. 19). Регистрирани са 101 случая, 84 от които за студеното полугодие, като 66 % от циклоните се придвижват по път III, а 27 % по път II.



Фиг. 19. (67) Схема на траекториите на средиземноморските циклони през студеното полугодие (Placko-Vrsnak et al., 2005; Гроздев, 2011). Траектория 3, 4 и 5 съответстват приблизително на пътищата на циклоните по Писарски, както следва: 3- пътища Ia+Ib; 4- път II, 5- пътища IIIa+IIIb.

В настоящото изследване е проследено придвижването на средиземноморските циклони за периода 2004-2016 г. и е определена честотата им на преминаване по пътищата Ia, Ib, II, IIIa, IIIb по схемата на Писарски (1956). Направено е сравнение с честотите на преминаване на циклоните по съответстващите пътища от схемата на Киров (1929), като разделение е направено за топлото и студено полугодие.

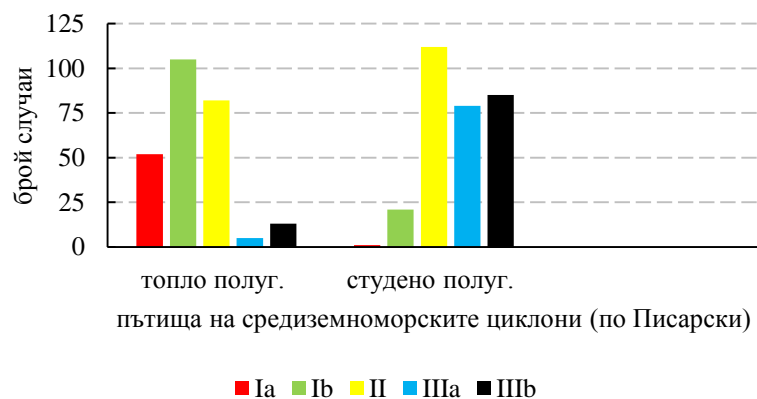
По синоптични карти за Европа (www.wetter3.de/Archiv; www.ecmwf.int; www.meteociel.fr; www2.wetter3.de; www.wetter3.de/Archiv/archiv_ukmet.html) са идентифицирани общо 555 синоптични обстановки с преминаване на барични депресии по пътищата от схемата на Писарски (1956). През топлото полугодие случаите са 257 (46.3 %), а през студеното - 298 (53.7 %).

На фиг. 20 е представен броят на случаите по петте пътища. Най-голяма е честотата на циклоните, движещи се по път II (34.8 %), следвани от тези по път Ib (28.9 %). С почти равен брой са пътищата IIIb (17.7 %) и IIIa (15.1 %) и на последно място са циклоните по път Ia (9.55 %).



Фиг. 20. (71) Брой средиземноморски циклони за периода 2004-2016 г., преминали по пътищата от схемата на Писарски (1956).

При обединение на траекториите на циклоните Ia+Ib, IIIa+IIIb, както правят авторите (Vocheva et al., 2007), по път III се придвижват 55 % от регистрациите, а по път II – 37.6 % (фиг. 20). Този резултат съответства на получения в работата на (Vocheva et al., 2007).



Фиг. 21. (72) Брой средиземноморски циклони за периода 2004-2016 г., преминали по пътищата от схемата на Писарски (1956) през топлото и студеното полугодие.

За студеното полугодие на изследвания период (фиг. 21), са идентифицирани 298 случаи с петте пътища на средиземноморските циклони, като най-чести са тези, преминаващи по път II (37.6 %), следвани от път IIIb (28.5 %) и IIIa (26.5 %). Едва 7.4 % от циклоните се движат по път Ib и 0.3 % по път Ia. През топлото полугодие (фиг. 21) циклоните се движат най-често по път Ib (41.1 %), следвани от път II (31.9 %), от път Ia (20.1 %), а с най-малка честота са тези по път IIIb (5 %) и IIIa (1.9 %).

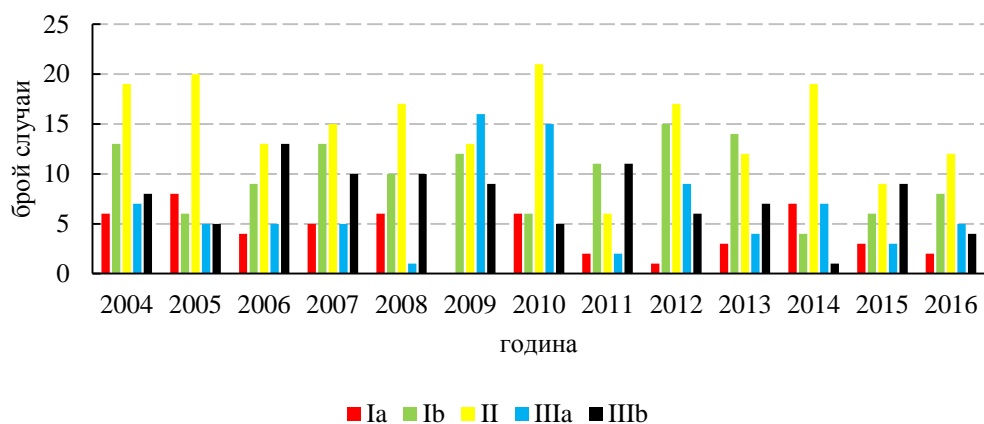
Получените резултати за топлото и студеното полугодие потвърждават основните изводи от предишни изследвания (Vocheva et al., 2007; Киров, 1929; Писарски, 1956). От фиг. 18 е видно, че най-южната траектория на циклоните *Ve* (Киров, 1929) отсъства в схемата на Писарски (1956). Пътищата IIIa и IIIb по Писарски (1956) са отместени на север от техните аналози *Vd1* и *Vd2* от схемата на Киров (1929). В настоящото изследване – максимална през годината е честотата на придвижване на циклоните по път II (таблица 8).

Таблица 8. (12) Сравнение на резултатите за траекториите на средиземноморските циклони получени от Киров (1929) и настоящите за периода 2004-2016 г.

Пътища / бр. случаи (%)	студено полугодие		топло полугодие	
	Киров (Киров, 1929)	2004-2016г.	Киров (Киров, 1929)	2004-2016г.
<i>Vc</i> ~ II	20 (12)	112 (37.6)	32 (25)	82 (32)
<i>Vd1</i> ~ IIIa	77 (46)	79 (26.5)	42 (32)	5 (2)
<i>Vb</i> ~ Ia+Ib	12 (7)	22 (7.4)	15 (11.5)	157 (61)
<i>Vd2</i> ~ IIIb	58 (35)	85 (28.5)	41 (31.5)	13 (5)

За студено полугодие според Киров (1929), най-чести са циклоните по път *Vd1*, докато за периода 2004-2016 г., максимална е повторемостта на преминаване на циклоните по път II. През топло полугодие според Киров (1929), депресиите преминаващи по пътища *Vd1* и *Vd2* са най-чести, а в настоящото изследване най-често циклоните преминават по пътища Ia и Ib. Най-значително през последните години е намаляването на относителния брой на циклоните преминаващи по път *Vd1*.

Съществува значителна междугодишна изменчивост на броя средиземноморски циклони преминали по отделните пътища (фиг. 22). Например, докато за целия разглеждан период, най-много са циклоните преминали по път II, то през 2009 г. най-много са циклоните по път IIIa, през 2013 г. най-многобройни са циклоните по път Ib, а през 2011 г. броят на циклоните по път II е необичайно малък. Общият брой на циклоните варира сравнително малко през годините, но през 2011, 2015 и 2016 г. са наблюдавани по-малко на брой циклони (30-32) от средния за разглеждания период (43).



Фиг. 22. (73) Годишно разпределение на броя на средиземноморските циклони по петте пътища по Писарски (1956) от 2004 до 2016 г.

ГЛАВА VI. МЕТОДЪТ “DECISION TREE” ЗА ПРОГНОЗА НА НЯКОИ ОТ ОПАСНИТЕ ЯВЛЕНИЯ НА ЛЕТИЩЕ БУРГАС

VI. 1. УВОД

Идеята на метода „decision tree” е да се изработи схема, съставена от набор от входни параметри, която прогнозира стойността на параметъра-цел, които са най-съществените за случването му (Colquhoun, 2010; Kumar, 2013). Прилага се главно в авиационната метеорология. Основното му предимство е компактното представяне и елиминирането на субективността при изготвянето на прогнозата. Методът представлява

процес, който метеорологът трябва да следва стъпка по стъпка, за да анализира данните и да вземе решение, дали има или съответно няма условия за формирането му (Wheeler et al., 1993). Основава се на физичните причини, затова може успешно да бъде полезен, както за изготвяне на краткосрочни прогнози (24 часова), така и за свръхкраткосрочни (nowcasting), каквито са необходими за авиацията (Colquhoun, 2010; Wantuch, 2001).

Настоящото изследване цели да разработи и изследва две схеми базирани на метода „decision tree“ за летище Бургас. Едната от тях е за прогноза на мъгла. Другата схема, е за силен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$ за топлото и студеното полугодие, както и снежна виелица или поземка на летището. Полугодията са дефинирани, по следния начин: топло - от април до септември и студено - от октомври до март. За всяко дърво са анализирани по 20 дни. За първото са изследвани регистрираните в началото на 2014 г. по 10 ситуации с и без мъгла на летището. За втората схема са взети по 10 дни със силен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$ за всяко полугодие.

VI. 2. ИЗПОЛЗВАНИ ДАННИ И МЕТОДОЛОГИЯ

От началото на 2014 г. за летище Бургас са анализирани 10 дни от годината с формирана адвективно-радиационна или адвективна мъгла и 10 дни без мъгла. Регистрациите са направени по архивните данни на сведенията METAR за Бургас.

За периода 2003-2016 г. са избрани по 10 ситуации за топлото и студеното полугодие със силен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$. Случаите от 2003 до 2004 г. са идентифицирани от архивните сведения SYNOP за Бургас на НИМХ към БАН (www.stringmeteo.com/synop/bg_stday.php), а от 2005 до 2016 г. от редовните сведения METAR за летището (www.ogimet.com).

Базирайки се на типизацията на Годев (1976), която е валидна предимно за адвективно-радиационни мъгли формиращи се във вътрешността на страната, са направени изводи за най-често срещаните синоптичните обстановки, които благоприятстват формиране на този тип мъгла за летище Бургас. За периода 2008-2014 г. е направена типизация на мъглите за летището, като е установено е, че 5 % от тях са радиационни, 7 % - фронтални, 27 % - адвективни и с най-голям дял са адвективно-радиационните – 61 % (Топузова & Рачев, 2015). Разгледани и подробно анализирани са методите на Saunders и неговите модификации за прогноза на температурата на точката на мъглата, както и за прогноза на температурата, при която мъглата ще се разсее (Топузова & Рачев, 2016; Топузова & Рачев, 2017a). Изчислен е емпиричният индекс *FOGSI* за Бургас, като за целта са разгледани 40 сл. от 2014 г. с формирана мъгла на летището. Установена е критична стойност 41, която разделя случаите с и без вероятност за образуване на мъгла (Топузова & Рачев, 2017a). С цел да бъде намален броя на „фалшивите аларми“ за *FOGSI* се поставя втора прагова стойност, която служи за филтър в началото на схемата за прогноза на мъгла. Тя се определя от максималната такава (57.5), от резултатите получени при изчисляването му за 40^{те} ситуации с регистрирана мъгла от 2014 г. Няма случай на формиране на мъгла на летището при *FOGSI* ≥ 58 . Споменатите методи са приложими за прогноза на радиационна или адвективно-радиационна мъгла.

В предишно изследване за периода 2003-2016 г. са идентифицирани 248 дни със силен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$ на летище Бургас. От тях 73 % са регистрирани през студеното и 27 % през топлото полугодие, като за всяко от тях са определени по 6 типични синоптични обстановки благоприятстващи такъв вятър. В схемата „decision tree“ за прогноза на силен вятър са включени само първите три от тях, защото за всяко полугодие те обхващат около 78 % от случаите (Топузова & Рачев, 2017b). За същия период през студеното полугодие са установени и 24 регистрации (13.3 %) със снежна виелица или поземка на летището. Те са включени в дървото, защото 33

% от случаите, са съпроводени с намаляване на хоризонталната видимост, създават се неблагоприятни условия на пистата за излитане и кацане – лош спиращ ефект, а понякога и закритие на летището. От същото изследване (Топузова & Рачев, 2017b) е установено, че типична синоптична обстановка за летище Бургас, при която условията са подходящи за снежна виелица или поземка е при комбинирано влияние на периферия на антициклон от NNE (или гребен на високо атмосферно налягане от NNE) и тил на средиземноморски циклон, с център на SE от България.

VI.2.1. СХЕМА ПО МЕТОДА “DECISION TREE” ЗА ПРОГНОЗА НА МЪГЛА НА ЛЕТИЩЕ БУРГАС

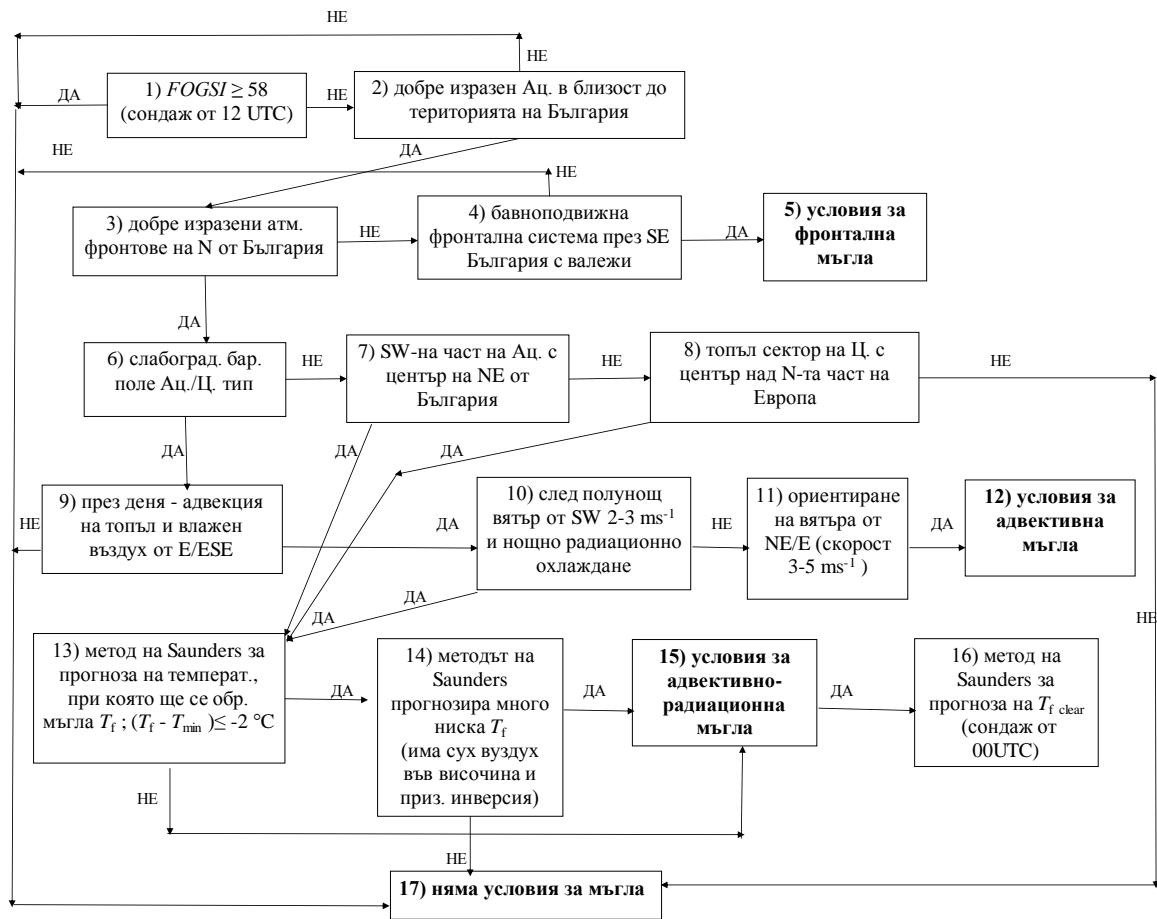
На фиг. 23 е представена схема по метода „decision tree” за прогноза на мъгла на летище Бургас съставена от 17 стъпки. Първата от тях е изчисляване на емпиричния индекс *FOGSI* за летището, който е допълнително средство за изготвяне на прогноза за мъгла, със стойности от прогностичния сондаж на модела на GFS от 12 UTC. Ако *FOGSI* < 58 - преминаваме към стъпка 2), в противен случай се излиза от дървото. Извършваме приземен анализ на синоптичната обстановка. Проверяваме дали има добре изразен антициклон, в близост до територията на България. Ако е „НЕ“ – няма условия за мъгла. При отговор „ДА“ - преминаваме към третата стъпка – проверяваме за добре изразени атмосферни фронтове на север от страната ни. При отрицателен отговор, при преминаване на бавноподвижна фронтална система през Югоизточна България, която е съпроводена с валежи, тогава има условия за образуване на фронтална мъгла (5). При положителен отговор от стъпка 3), проверяваме дали страната ни попада в слабоградиентно барично поле от циклонален или антициклонален тип (6). При положителен отговор, преминаваме към стъпка 9) – дали очакваме през деня, през студеното полугодие, вятърът на летището да бъде ориентиран от акваторията на Черно море (от E / ESE), откъдето имаме пренос на топла и влажна въздушна маса. Ако е „НЕ“ – излизаме от дървото, но при положителен отговор, ако очакваме вятърът след полунощ да се ориентира от SW и да бъде слаб, със скорост $2-3 \text{ ms}^{-1}$, в съчетание с нощното радиационно охлаждане (10), то преминаваме към стъпка 13). Но при отговор „НЕ“ след стъпка 10) продължаваме към 11) - ако очакваме вятър, ориентиран от североизток / изток, със скорост около $3-5 \text{ ms}^{-1}$, то има условия за образуване на адвективна мъгла (12). При отрицателен отговор след стъпка 6), проверяваме дали страната ни попада в югозападна част на антициклон, с център на североизток от България - стъпка 7). При отговор „ДА“, преминаваме към 13), а при отговор „НЕ“ – към стъпка 8). Ако България попада в топъл сектор на циклон, с център над Северна Европа, продължаваме към стъпка 13), а при отговор „НЕ“ – излизаме от дървото. Като помощно средство за прогноза на адвективна мъгла използваме сателитните изображения, а за адвективно-радиационна мъгла, прилагаме метода на Saunders, за прогноза на температурата на точката на мъглата T_f . За целта, модифицираме прогностичния сондаж на глобалния модел на GFS от 12 UTC, с приземните температура и точка на оросяване от редовното сведение METAR за Бургас. Ако получим разлика $(T_f - T_{\min}) \leq -2 \text{ }^\circ\text{C}$, където T_{\min} е минимална температура, взета от редовните сведения за Бургас, и когато методът на Saunders прогнозира много ниска T_f (Топузова & Рачев, 2016) в случаите, при които има сух въздух във височина, в съчетание с приземна температурна инверсия (14), тогава има условия за адвективно-радиационна мъгла. Но при отговор „НЕ“ след стъпка 14) – има сух въздух във височина, но няма приземна температурна инверсия или обратно, тогава мъгла не се очаква. Ако разликата между $T_f - T_{\min} > -2 \text{ }^\circ\text{C}$, тогава има условия за адвективно-радиационна мъгла. Преминаваме към стъпка 16) – при прогнозирана адвективно-радиационна мъгла, прилагаме методът на Saunders, за прогноза на температурата, при която мъглата ще се разсее $T_{f \text{ clear.}}$ (Топузова & Рачев, 2017a). Затова

е необходимо да ползваме прогностичния сондаж на GFS за Бургас от 00 UTC, като отново се модифицират приземните температура и точка на оросяване от аерологичната диаграма с реалните, взети от сведението METAR за Бургас.

В случаите, при които мъглата е с доминираща адвективна компонента, методът на Saunders и индексът *FOGSI* не са приложими. При прогноза на адвективни мъгли трябва да се използват други методи, като най-често се прилага синоптичният метод, проследяване на различни спътникови изображения и числени модели за прогноза на времето (Holtslag et al., 2010; Wantuch, 2001).

При изготвяне на бъдещите прогнози за мъгла на летище Бургас по метода „decision tree”, прогнозираната минимална температура, както и температурата, и точката на оросяване ще се взимат от локалния числен модел на ALADIN, разработен от колектив в НИМХ на БАН.

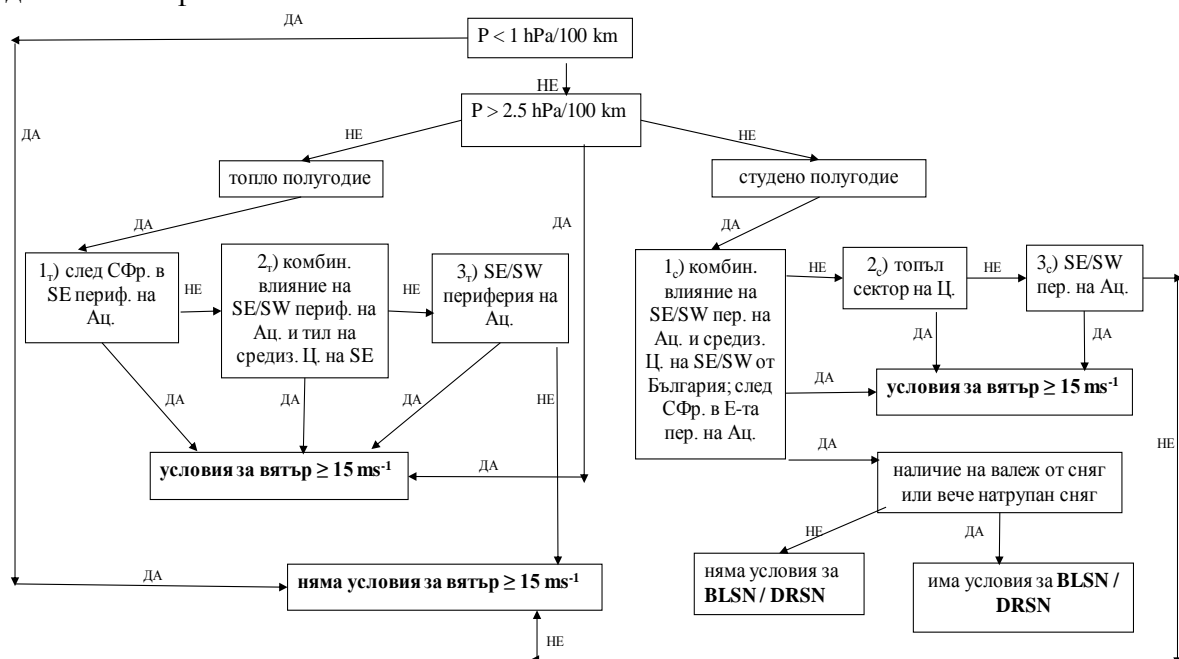
Нека направим съпоставка на описаната до тук схема за прогноза на мъгла за летище Бургас, с вече утвърдената и прилагаща се такава от унгарските авиометеоролози. Дървото за прогноза на мъгла, разработено за летището в Будапеща (Wantuch, 2001), се различава от това за Бургас. Унгарците разглеждат въздуха от приземния слой до 925 hPa - дали е сух, средно или много влажен, дали вятърът е слаб или по-силен и дали има радиационно охлаждане. Използват индекса *FOGSI*, като предварителен филтър със съответната прагова стойност за Будапеща. Според тях, на летището има условия за мъгла, ако има наличие на влажен въздух в слоя от земната повърхност до 925 hPa, в комбинация с нощното радиационно охлаждане. Схемата за прогноза на мъгла за летище Бургас (фиг.80) е съставена много по-обстойно. Емпиричният индекс *FOGSI* се прилага само в началния ѝ стадий, за да се филтрират случаите без мъгла. Унгарците проверяват състоянието на приземния въздух, докато в нашия случай се прилага методът на Saunders и неговите модификации, при които с разработването им върху аерологичната диаграма се получава точен критерий за температурата на точката на мъглата ($(T_f - T_{min}) > -2 \text{ }^\circ\text{C}$). От съществено значение за летище Бургас, е непосредствената му близост до голям воден басейн, какъвто е Черно море и по-малките водоеми - Бургаските езера. Затова са установени типични синоптични обстановки, които благоприятстват формирането на мъгла.



Фиг. 23. (80) Схема по метода “decision tree” за прогноза на мъгла на летище Бургас

VI.2.2. СХЕМА ПО МЕТОДА “DECISION TREE” ЗА ПРОГНОЗА НА ВЯТЪР СЪС СРЕДНА СКОРОСТ ИЛИ ПОРИВИ $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$ И СНЕЖНА ВИЕЛИЦА / ПОЗЕМКА НА ЛЕТИЩЕ БУРГАС

Схема по метода „decision tree” за прогноза на вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$, а за студеното полугодие и за снежна виелица или поземка на летището е представена на фиг. 24.



Фиг. 24. (81) Схема по метода “decision tree” за прогноза на вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$, а за студеното полугодие и за снежна виелица или поземка на летище Бургас.

В изследване на Годев (1976) е установено, че при среден баричен градиент 2 - 3 hPa на 100 km, обикновено вятърът има скорост 12 - 15 ms^{-1} , като в зависимост от влиянието на орографията, на места е по-силен или по-слаб. Използвайки този резултат, в началото на дървото за прогноза на силен вятър (фиг. 24) поставяме два емпирични филтъра за Бургас (P), на абсолютната стойност на средния баричен градиент. За получаването им е анализиран седемгодишен период от 2010 до 2016 г., за който са разгледани 10243 данни за средна скорост и пориви на вятъра през 6 часа в основните синоптични срокове 00, 06, 12 и 18 UTC за Бургас (www.stringmeteo.com/synop/bg_stday.php). За същия период през 6 часа са ползвани данните от атмосферните реанализи на ERA Interim и ECMWF, необходими за пресмятане на абсолютната стойност на средния баричен градиент, осреднен за площ с размери 230 x 240 km, в центъра на която се намира Бургас. За всички 10243 регистрации е изчислен средният баричен градиент, като получените стойности са разделени на такива с вятър със средна скорост над 15 ms^{-1} , с пориви над 15 ms^{-1} и с по-слаб вятър. Стигнато е до заключение, че при $P < 1 \text{ hPa}$ на 100 km няма условия за вятър със средна скорост или пориви над 15 ms^{-1} . При $P > 2.5 \text{ hPa}$ на 100 km – има условия за споменатия вятър и при стойности в интервала от 1 до 2.5, в зависимост от полугодията, след извършен детайлен анализ на приземното барично поле, фокусът ни се насочва върху типичните синоптични обстановки за България, при които има условия за вятър със средна скорост или пориви над 15 ms^{-1} (Топузова & Рачев, 2017b). Изследвана е грешката на средния баричен градиент, представена в таблица 9. В табл. 9а за периода 2010 – 2016 г. са случаите (и в %), при които стойността на средния баричен градиент $P < 1 \text{ hPa}$ на 100 km, но въпреки това има регистриран вятър със средна скорост (във втората колонка) и пориви (в третата колонка) $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$. В табл. 9б за същия период са

случаите (и в %), при които $P > 2.5$ hPa на 100 km, но вятърът е със средна скорост < 15 ms⁻¹.

Таблица 9. (13) Регистрираните за периода 2010 – 2016 г. брой случаи (и в %) с грешка при стойността на средния баричен градиент P , като: а) – случаите, при които $P < 1$ hPa на 100 km, но е имало вятър със скорост и пориви ≥ 15 ms⁻¹ и б) $P > 2.5$ hPa на 100 km, но вятърът е бил със средна скорост < 15 ms⁻¹.

а)

	ск. на вятъра ≥ 15 ms ⁻¹	пориви на вятъра \geq 15 ms ⁻¹
бр. сл. 2010-2010 г.	196	934
от тях бр. сл. с $P < 1$	3	118
% бр. сл. с $P < 1$	1.5	12.6

б)

	ск на вятъра < 15 ms ⁻¹
бр. сл. 2010-2010 г.	9293
от тях бр. сл. с $P > 2.5$	432
% бр. сл. с $P > 2.5$	4.6

Продължаваме по схемата, като за всяко от полугодията се тръгва по клона на дървото. За топлите месеци, трите най-чести обстановки за летището, при които се прогнозира вятър със средна скорост или пориви ≥ 15 ms⁻¹, е 1_т) след преминал студен атмосферен фронт в SE/E периферия на антициклон; след студен атмосферен фронт на циклон. Втората типична ситуация за Бургас е 2_т) при комбинирано влияние на SE / SW периферия на антициклон и тил на средиземноморски циклон, с център на SE от страната. Третата обстановка е 3_т) при SE / SW периферия на антициклон. За студеното полугодие, трите типични синоптични обстановки за летището, при които се очаква вятър със средна скорост или пориви ≥ 15 ms⁻¹ е 1_с) при комбинирано влияние на SE / SW периферия на антициклон и средиземноморски циклон, с център на SE/SW от страната; след преминал студен атмосферен фронт в E периферия на антициклон. Втората типична ситуация е 2_с) в топъл сектор на циклон, а третата 3_с) в SE / SW периферия на антициклон (Топузова & Рачев, 2017b). Когато през студеното полугодие на земната повърхност има натрупан пухкав сняг или се прогнозира силният вятър да бъде съпроводен със снеговалеж, при синоптична обстановка - комбинирано влияние на антициклон, с център на NNE от България и средиземноморски циклон, с център на SE от страната, тогава очакваме снежна виелица или поземка. Обикновено тези явления са съпроводени с ниска хоризонталната видимост. Прогнозира се едното или другото явление, в зависимост от това, до каква височина над земната повърхност вятърът издига снежинките, като на височина ≥ 2 m – се прогнозира високо носеща се снежна виелица, ако е < 2 m – ниско носеща се поземка.

VI.3 РЕЗУЛТАТИ

VI.3.1. РЕЗУЛТАТИ ОТ МЕТОДА „DECISION TREE” ЗА ПРОГНОЗА НА МЪГЛА НА ЛЕТИЩЕ БУРГАС

В табл. 10 са представени първите 10 дни от 2014 г. с регистрации на мъгла на летище Бургас. Във втората колонка от нея са получените резултати от абсолютната стойност на разликата между прогнозираната по метода на Saunders (T_f) и измерената от сведението METAR за Бургас температура на формиране на мъглата (T_{fog}). В третата колонка е изчислената абсолютна стойност на разликата между прогнозираната по метода на Saunders ($T_{fog\ clear}$) и реалната от сведението METAR температура (T_{clear}), при която мъглата дисипира. В четвъртата колонка е изчислен индексът $FOGSI$. В предпоследната колонка е определен типът на мъглата, а в последната – типът на синоптичната обстановка за България.

За 90 % от ситуациите (табл.10), методът на Saunders, за прогноза на температурата на точката на мъглата дава много добри резултати. Само за един случай

(06.01.2014 г.), разликата между $|T_f - T_{\text{fog}}| > 2 \text{ }^\circ\text{C}$. За прогнозиране на температурата, при която мъглата ще се разсее, по метода на Saunders се получава 100 % успеваемост ($|T_{\text{fog clear}} - T_{\text{clear}}| \leq 2 \text{ }^\circ\text{C}$). Индексът *FOGSI* успешно прогнозира мъгла на летището (*FOGSI* < 41) при 60 % от случаите и при 40 % от тях греша - стойността му е > 41. За прегледност, стойностите, получени по метода на Saunders и индекса *FOGSI*, според които няма условия за образуване на мъгла, са с удебелен шрифт.

От 10^{-те} случая с мъгла (табл. 10), проверени по схемата на метода “decision tree”, за прогноза на мъгла, всеки един от тях, според типа на синоптичната обстановка, отговаря на условията за формиране на мъгла. На 06.01., 14.01., 07.02. и 07.03 приземното барично поле благоприятства образуване на мъгла (югозападна периферия на антициклон). Само в първия случай методът на Saunders не дава успешна прогноза за температурата, при която ще се формира мъгла, също и изчислената стойност за индекса *FOGSI* е по-голяма от критичната за формиране на мъгла за Бургас. Въпреки това, на летището има регистрирана мъгла. Най-вероятно причината за това несъответствие е типът на мъглата – добре изразена адвективна. При другите три ситуации и двата метода дават подходящи условия за мъгла.

На 08.01., 19.01., 14.02., 19.02. и 28.02 типът на приземното барично поле (слабоградиентно) също благоприятства образуването на мъгла. С изключение на втората дата ориентацията на вятъра, както през деня, така и през нощта допринасят за образуването на мъгла. Без първия и четвъртия случай *FOGSI* греша (*FOGSI* > 41). С поставянето на втората прагова стойност на индекса още в началото на дървото (*FOGSI* \geq 58) се анализират всички ситуации с регистрирана мъгла. Така и трите случая от табл. 10, при които *FOGSI* > 41 и не прогнозира вероятност за мъгла, се разглеждат по-нататък по дървото.

Ще анализираме ситуацията на 19.01.2014 г., при която типът на синоптичната обстановка благоприятства образуване на мъгла, но след стъпка 9) се излиза от дървото. На сателитното изображение от TERRA MODIS от 19.01.2014 г., с фокус върху България, с разделителна способност 500 m, добре се вижда образувалата се адвективно-радиационна мъгла в района на Бургас, в голяма част от Горнотракийската низина на изток от Пловдив, както и по поречието на Марица и Тунджа (NASA Earth Data). В Пловдив през цялото денонощие от 18.01 до 19.01 (10 UTC) е имало мъгла, която след около 02 UTC на 19.01 преминава в облещаваша. Мъглата се пренася от запад на изток – директно със студен въздух от поречието на река Тунджа над Бургас. От редовните сведения METAR за Бургас разглеждаме вятъра през деня, който е бил ориентиран от W със скорост 4-6 ms⁻¹. След 15:30 UTC се преориентира от WSW до SW със скорост 2-4 ms⁻¹, температурата на въздуха е 11 °C. От 00 до 03 UTC температурата на летището се понижава от 7 °C до 4 °C, като в 03 UTC е регистрирана адвективно-радиационна мъгла с ниска плътна слоеста облачност с долна граница от 30 до 60 m.

Таблица 10. (14) Последователни дати от 2014 г. с регистрирана мъгла на летище Бургас, за които са приложени методите на Saunders за прогнозиране на температурата на точката на мъглата, температурата, при която мъглата ще дисипира и изчисляване на индекса *FOGSI*.

Дати с мъгла 2014 г.	Saunders $ T_f - T_{\text{fog}} $ [°C]	Saunders $ T_{\text{fog clear}} - T_{\text{clear}} $ [°C]	<i>FOGSI</i> < 41	Тип на мъглата	Тип на синопт. обстан. за България
06.01	3	1	50.5	адв.	SW част на Ац.
08.01	1	2	22.9	адв.	слабоград. бар. поле
09.01	2	1	22.5	адв.- рад.	бар. седловина от Ац. тип
14.01	2	2	30.9	адв.- рад.	SW част на Ац
19.01	2	1	43.9	адв.- рад.	слабоград. бар. поле
07.02	0	2	22.2	адв.- рад.	SW част на Ац
14.02	1	0	56.6	адв.- рад.	слабоград. бар. поле
19.02	1	1	40.9	адв.	слабоград. бар. поле
28.02	0	2	43.2	адв.- рад.	слабоград. бар. поле
07.03	0	2	39.9	адв.	SW част на Ац.

В табл. 11 са представени 10 случая за летище Бургас през 2014 г., при които няма регистрирана мъгла. Стойностите получени по метода на Saunders и индекса *FOGSI* (*FOGSI* < 41), според които има условия за образуване на мъгла, са с удебелен шрифт.

Таблица 11. (15) Дати без мъгла на летище Бургас през 2014 г., за които методът на Saunders за прогноза на температурата на точката на мъглата и индексът *FOGSI* са проверени за „фалшиви аларми“.

Дати без мъгла 2014 г.	Saunders (False alarms) $T_f - T_{\text{min}} \leq -2 \text{ } ^\circ\text{C}$	<i>FOGSI</i> (False alarms)	Тип на синопт. обстан. за България (00 UTC)
01.01	-4	18.1	SW пер. на Ац.
02.01	-2	22.2	SW част на Ац.
03.01	-1	22.1	слабоград. бар. поле от Ац. тип
04.01	-2	24.1	SW част на Ац.
11.01	-8	60.7	след преминал СФр. на Ц., с център на N от България
12.01	-7	51.8	слабоград. бар. поле от Ац. тип
13.01	-3	62	след преминал СФр. на циклон, с център на N от България.
23.01	-3.5	43.6	цикл. бар. поле-фронт. система на N от страната
30.01	-2	19.9	комбин. влиян. на баричен гребен от NNE и Ц. на E от страната
04.02	-3	30.4	SW пер. на Ац.

От табл. 11 се стига до заключение, че при проверка на метода на Saunders, за прогноза на температурата на точката на мъглата за 10 дни от 2014 г. за „фалшиви аларми“, при 90 % от случаите прогнозата е успешна. Само при 10 % от тях (03.01.2014 г.), методът дава грешна стойност – вероятност за формиране на мъгла.

„Фалшивите аларми“ за *FOGSI* за 10^{те} регистрации без мъгла от същата година показват, че при 60 % индексът греша - прогнозира вероятност за мъгла. Само за 40 % от случаите, за *FOGSI* се получава стойност ≥ 41 , при която не се очаква мъгла. На 03.01.2014 г. и по двата метода има условия за формиране на мъгла, но реално такава не се образува. С поставянето на втората прагова стойност на индекса в началото на схемата

два случая от разглежданите 10 без мъгла веднага отпадат още от началото на дървото (11.01 и 13.01).

За 10^{-те} случая без мъгла на летището (табл. 11), преминаваме по схемата по метода „decision tree” за прогноза на мъгла (фиг.23). Според типа на синоптичната обстановка при четири от тях, България попада в SW– на периферия на антициклон. След стъпка 13), при тези случаи изходът е „ДА“, но след стъпка 14) - няма условия за мъгла. Два от случаите са след преминал атлантически циклон и свързаният с него студен атмосферен фронт. При тях след стъпка 4) преминаваме на 17) – няма условия за мъгла. При случая от 23.01. синоптичната обстановка е циклонално барично поле - фронтална система, разположена на север от страната. След стъпка 4) се получава, че няма условия за образуване на мъгла.

На 03.01. и 12.01.2014 г. България попада в слабоградиентно барично поле от антициклонален тип. В първия случай в следобедните часове макар и за кратко от 14:30 до 15:30 UTC вятърът се ориентира от SE със скорост 1-2 ms⁻¹, облачността е плътна слоесто-купеста с долна граница 600 m. След полунощ вятърът се преориентира от SW, като остава слаб със скорост около 2 ms⁻¹, видимостта варира между 6 и 8 km, а долната граница на облачността се снижава до ниска слоеста на около 450 m. Продължавайки по стъпките на дървото и по двата метода получаваме, че има условия за адвективно-радиационна мъгла. Най-вероятно причината, поради която мъглата не се е формирала, е наличието на плътната ниска слоеста облачност, която се задържа през цялото денонощие. От сведенията SYNOP на НИМХ за Бургас от 03 UTC виждаме, че температурата е 5 °C, относителната влажност - 100 %, т.е. условията са налични за формиране на мъгла. Във втория случай (12.01.2014 г.) след 15 UTC вятърът на летището се ориентира от SE до NE със скорост 3 до 5 ms⁻¹, а след 22 UTC се преориентира от SW 2-3 ms⁻¹ – условия подходящи за мъгла. Но след стъпка 13) и 14), изходът от дървото е, че няма условия за мъгла. В последния разглеждан случай (30.01.) още от стъпка 2) излизаме от дървото. Причината за това е типът на синоптичната обстановка за Югоизточна България - комбинирано влияние на гребен на високо атмосферно налягане от NNE и циклон на E от страната.

VI.3.2. РЕЗУЛТАТИ ОТ МЕТОДА „ DECISION TREE” ЗА ПРОГНОЗА НА ВЯТЪР СЪС СРЕДНА СКОРОСТ ИЛИ ПОРИВИ $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$ И СНЕЖНА ВИЕЛИЦА / ПОЗЕМКА НА ЛЕТИЩЕ БУРГАС

От сведенията METAR за летище Бургас за топлото и студеното полугодие са избрани по 10 дни с регистриран силен вятър със средна скорост или с пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$, като за всеки от тях е изчислена абсолютната стойност на средния баричен градиент (табл. 12). Регистрациите са подредени таблично по типа на първите три най-често срещани синоптични обстановки за България, обозначени съответно с индексите „т“ – за топлото и „с“ – за студеното полугодие. За студените месеци за всички случаи, а за топлите – за един от тях се получава стойност за баричния градиент $> 2.5 \text{ hPa}$ на 100 km, при което изходът от схемата е за налични условия за вятър със средна скорост или пориви $> 15 \text{ ms}^{-1}$. За 9 от 10^{-те} дни за топлото полугодие се получава стойност $1 < P < 2.5$, при което се разглеждат синоптичните обстановки за югоизточната част от страната.

Таблица 12. (16) 20 дни със силен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$ за топлото и студеното полугодие за летище Бургас. Типът на синоптичната обстановка от 1 до 3, съответства на първите три най-чести ситуации за България, подредени по реда, който е представен в схемата на дървото (фиг. 24).

„Г“ – топло полугодие, „С“ – студено полугодие.

ТОПЛО ПОЛУГОДИЕ			СТУДЕНО ПОЛУГОДИЕ		
дата	тип на синопт. обст. за България	P (hPa на 100 km)	дата	тип на синопт. обст. за България	P (hPa на 100 km)
08.08.05 г.	1 _Г	1.1	03.02.05 г.	1 _С	3.3
18.04.05 г.	1 _Г	1.2	04.02.05 г.	1 _С	3.1
30.08.06 г.	1 _Г	1.5	26.02.11 г.	1 _С	3.5
01.08.07 г.	1 _Г	1.5	20.12.12 г.	1 _С	4.7
01.08.15 г.	1 _Г	1.7	09.11.10 г.	2 _С	3.8
27.04.08 г.	2 _Г	1.1	29.11.10 г.	2 _С	3
08.09.09 г.	2 _Г	1.1	28.10.12 г.	2 _С	3
01.04.05 г.	2 _Г	1.1	29.11.12 г.	2 _С	3.1
15.04.04 г.	3 _Г	1.1	30.01.12 г.	3 _С	3.6
30.09.15 г.	3 _Г	2.8	12.02.15 г.	3 _С	3.4

За първите четири случая от студеното полугодие от табл. 12, според дървото, има налични условия и за снежна виелица или поземка. От анализа на четирите обстановки се заключава, че времето над България се обуславя от комбинирано влияние на средиземноморски циклон, разположен на SE от страната, на NE - обширен антициклон с център над Европейска Русия (баричен гребен от NNE).

ГЛАВА VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направения анализ на 128 дни с образуване на мъгли над летище Бургас през периода 01.01.2008 – 11.09.2014 г. се стига до заключението, че формирането на мъглите до голяма степен е свързано със синоптичните обстановки над Европа, но съществено е и влиянието на локалните фактори, а именно близостта на летището до акваторията на Черно море и по-малките водоеми – Бургаските езера, както и разположения на югозапад голям промишлен център. Именно на последните се дължи факта, че голям брой мъгли образувани над летище Бургас не се включват в класификацията на Годев (1976). Анализът на синоптичните обстановки показва, че адвективните фактори са определящи за образуване на мъгли над летището, а на второ място са радиационните.

Наблюдава се съществена междугодишна и месечна изменчивост на броя и видовете мъгли над летище Бургас за периода 01.01.2008-11.09.2014 г. Най-чести са мъглите през януари, февруари и ноември, но значителен брой мъгли са регистрирани и през ранната пролет – март и април. Сравнението на резултатите от настоящото изследване с тези от периода 1985 - 1991 г. (Иванов, 1993) показва, че съществена промяна в броя със случаите с мъгла и техния вид през годините над летище Бургас не е настъпила. Резултатите за разпределението по месеци на мъглите над летището от настоящото изследване добре се съгласуват с тази на други автори (Иванов, 1993), като има известно разминаване в максимума на броя на мъглите. Причина за това несъответствие най-вероятно са късите периоди на изследване, като в подкрепа на тази хипотеза е резултатът, който се променя, когато се включат месеците октомври, ноември и декември за 2014 г.

От извършения анализ на три конкретни синоптични обстановки с регистрирана мъгла над летище Бургас следва, че близостта на района до големи водни басейни е определяща при създаването на благоприятни условия за формиране на мъгли.

Резултатите от анализа на 112-те дни с регистрирана мъгла от радиационен и адвективно-радиационен тип през периода от 01.01.2010 - 01.05.2015 г., дават основание

да се твърди, че методът на Saunders с модификациите му за прогноза на образуването на мъгла е приложим за летище Бургас. След направените промени на моделните сондажи от глобалния числен модел на GFS с приземните реални температура и точка на оросяване взети от редовните сведения METAR за Бургас, се получават удовлетворителни резултати. Анализът показва, че прилагането на метода не е удачно в случаите на формирането на мъгла на летището с доминираща адвективна компонента. Нереалистично ниска температура на прогнозната точка на мъглата се получава и при наличието във височина на много по-сух въздух. Направената проверка за „фалшиви аларми“ с използвани данни от сведенията METAR за летището и тази с данни от локалния числен модел на ALADIN за модифициране на моделните сондажи, дават основание да се твърди, че методът на Saunders за прогноза на точката на мъглата е успешно приложим за летище Бургас.

За определяне температурата на разсейване на мъглата по метода на Saunders, след извършените промени на прогностичните сондажи с реалните приземни температура и точка на оросяване от сведенията за летището, отново се получават надеждни резултати. Методиката не е приложима при мъгли с доминиращ адвективен фактор.

Тъй като преобладаващите мъгли на летище Бургас са от адвективно-радиационен и радиационен тип, следва методът на Saunders да бъде в помощ за оперативната работа на авиометеоролозите при изготвянето на прогнозите на мъгли в около 60 % от всички регистрации с мъгла.

Като допълващ емпиричен метод при изготвяне на прогноза за мъгла от радиационен и адвективно-радиационен тип за летището, може да се използва индексът *FOGSI*.

За периода 2003-2016 г. на летище Бургас са разгледани случаите с поява на някои опасни за авиацията атмосферни условия - силен вятър със средна скорост или пориви над 15 m s^{-1} , снежни виелици и поземки, гръмотевични бури. Направените анализи на синоптичните обстановки показват, че опасните условия на летището са свързани най-често с комбинираното влияние на периферията на антициклон, с център далече на север от територията на България и тилната част на средиземноморски циклон, с център над Черно море (пътища II и III по Писарски (1956)). Такива обстановки са типични за студеното полугодие и именно при тях са наблюдавани снежни виелици и над 2/3 от случаите със силен вятър. Преминаването на средиземноморски депресии е свързано и с 2/3 от регистрираните на летището гръмотевични бури.

Затова за периода 2004-2016 г. са изследвани траекториите на средиземноморските циклони. През студеното полугодие най-често те се придвижват по път II от класификацията на Писарски (1956), а през топлото полугодие – по път Ib. Надеждното прогнозиране на придвижването на средиземноморските циклони, би довело до своевременно определяне на опасни за авиацията условия и до повишаване сигурността на полетите на летището.

Крайната цел на дисертационния труд е изготвянето на две схеми за краткосрочна прогноза за летище Бургас, базирани се на метода „decision tree“. Едната е за прогноза на мъгла, а другата – за силен вятър със средна скорост или пориви над 15 m s^{-1} , а за зимните месеци и за снежна виелица или поземка на летището. От направения анализ на 20^{те} дни с и без регистрирана мъгла на летище Бургас през 2014 г. се стига до заключението, че методът „decision tree“ може да бъде успешно приложен за прогноза на мъглите на летището. Разгледани са специфични синоптични обстановки с формирана мъгла, за които следвайки стъпките на дървото се получава, че няма условия за формирането ѝ. След поставяне на втори филтър за индекса *FOGSI* в началото на схемата (стойност ≥ 58), се избягва високият процент „фалшиви аларми“.

Втората схема за прогноза на силен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$, както и за снежна виелица или поземка през студеното полугодие за летището, е също

надеждна. За разгледаните 20 ситуации за България изходът от дървото дава 100 % успеваемост.

Ефикасността на изготвените схеми ще бъде силно зависима от данните, които ще се ползват от локалния числен прогностичен модел на ALADIN.

ОСНОВНИ ПРИНОСИ В ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Определени са най-често срещаните синоптични обстановки, които благоприятстват формирането на адвективно-радиационен тип мъгли над летище Бургас;
2. Установено е, че методът на Saunders за прогноза на образуване и разсейване на адвективно-радиационна и радиационна мъгла е успешно приложим в около 60 % от всички случаи с мъгла за летище Бургас, и може надеждно да се използва в оперативната практика на авиометеоролозите. Методиката не е приложима за мъгли с доминиращ адвективен фактор;
3. Определени са по 6 типични синоптични обстановки за топлото и студеното полугодие за България, които благоприятстват появата на силен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$, както и снежна виелица или поземка за летището;
4. Извършено е актуално изследване на траекториите на средиземноморските циклони, тъй като надеждното прогнозиране на придвижването им би довело до своевременно определяне на някои от опасните за авиацията условия на летището;
5. Разработени са две схеми по метода „decision tree“ за летище Бургас. Едната от тях - за прогноза на мъгла, другата за силен вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ ms}^{-1}$, които успешно могат да се прилагат в изготвянето на прогнозите и nowcasting на летище Бургас;

ПУБЛИКАЦИИ НА АВТОРА, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИЯТА

- Топузова Ел., Н. Рачев: „Мъгли над летище Бургас през периода 2008-2014 г. „ Ann. de l'Univ. “St. Kl. Ohridski”, 2015, 108, 115-132.
- Топузова Ел., Н. Рачев: „Метод за прогноза на радиационни мъгли над летище Бургас“, Ann. de l'Univ. “St. Kl. Ohridski”, 2016, 109.
- Топузова Ел., Н. Рачев: „Прогноза на мъгли над летище Бургас“, Ann. de l'Univ. “St. Kl. Ohridski”, 2017, 110.
- Топузова Ел., Н. Рачев: „Синоптични обстановки, водещи до създаването на опасни за авиацията условия на летище Бургас“, Ann. de l'Univ. “St. Kl. Ohridski”, 2017, 110.
- Топузова Ел., Н. Рачев: „Методът „decision tree“ за прогноза на някои от опасните явления на летище Бургас“, Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology, 2017 (под печат).

СПИСЪК С ИЗПОЛЗВАНИТЕ СЪКРАЩЕНИЯ

GFS – Global Forecast System;

ICAO – International Civil Aviation Organization;

FOG top - горната граница на слоя с мъгла;

T – температура;

Δp – емпирично получена стойност на дебелината на инверсионния слой;

T_d - температура на точката на оросяване;

T_f – температура на точката на мъглата е прогнозираната температурата, получена по метода на Saunders, при която ще се образува мъгла;

T_{fm} – температура на точката на мъглата, получена чрез използване на модифицирана конструкция на Saunders;

$T_{fog\ clear}$ - се нарича прогнозираната температурата на разсейване на мъглата, получена чрез метода на Saunders;

T_{dawn} - температурата при изгрева на Слънцето;

T_{fog} - измерената температура при образуването на мъглата, според редовното авиометеорологично сведение METAR за летище Бургас;

T_{min} - минималната температура, взета от редовните авиометеорологични сведения METAR за Бургас;

T_{clear} – реалната температура, при която дисипира мъглата по данни от сведенията METAR за летище Бургас;

P - абсолютната стойност на средния баричен градиент за Бургас;

QFE - атмосферното налягане на прага на използваната писта за излитане и кацане на летището;

Ац. – антициклон;

СФр. – студен атмосферен фронт;

Ц. – циклон.

БИБЛИОГРАФИЯ

- Bocheva, L., Georgiev, Ch., Simeonov, P., 2007. A climatic study of severe storms over Bulgaria produced by Mediterranean cyclones in 1990-2001 period, Atmospheric Research, 83, 248-293.
- Colquhoun, J., 2010. Forecast techniques: A decision tree method of forecasting thunderstorms, severe thunderstorms and tornadoes, Bureau of meteorology, Darlinghurst, Australia.
- COST 722, 2003. Short range forecasting methods of fog, visibility and low clouds.
- Dejmal, K., Novotny J., 2011. Application of Fog Stability Index for Significantly Reduced Visibility forecasting in the Czech Republic, in: Recent advances in fluid mechanics and heat and mass transfer, ISBN: 978-1-61804-026-8, 317-320.
- Federal Aviation Administration, 2010. Weather-Related Aviation Accident Study 2003-2007.
- Holtslag, M., Steeneveld, G., Holtslag, A., 2010. Fog forecasting: “old fashioned” semi-empirical methods from radio sounding observations versus “modern” numerical models, In: Proceedings of the 5th International Conference on fog, Fog Collection and Dew, Münster, Germany, 2010-07-25/ 2010-07-30.
- <http://cost733.met.no/FinalEventPresentations.htm>.
- <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.
- Kumar, R., 2013. Decision Tree for the Weather Forecasting, Dept. of ECS, Dronacharya College of Engineering, Gurgaon, India, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Volume 76– No.2.
- Kushwaha, M., Sharma, S., 2014. Impact of Environmental Factors on Aviation Safety, Advances in Aerospace Science and Applications, ISSN 2277-3223 Volume 4, Number, pp. 73-78, Research India Publications; https://www.ripublication.com/aasapl/aasav4n1spl_12.pdf.
- Laskar, S., Roy Bhowmik, S., Sinha V., 2013. Some statistical characteristics of occurrence of fog over Patna airport, India Meteorological Department, New Delhi – 110 003, India; MAUSAM, 64, 2, 345-350.
- Laroche, P., Blanchet, P., Delannoy, A., Issac, F., 2012. AerospaceLab, 5, 1-13.

- Leviäkangas, P., Saarikivi, P., 2012. D6 European Extreme Weather Risk Management – Needs, Opportunities, Costs and Recommendations, Seventh framework programme EWENT Extreme weather impacts on European networks of transport, Grant Nr 233919, http://ewent.vtt.fi/Deliverables/D6/Ewent_D6_SummaryReport_V07.pdf.
- Markova, B., Mitzeva, R., 2011. On the use of proximity sounding versus aerological Bucharest sounding in northeast part of Bulgaria, *Bulgarian Journal of Meteorology & Hydrology*, 16, 1, 86-93.
- Met Office College, 2009. Radiation fog forecasting techniques, www.caem.wmo.int/_pdf/low_cloud_visibility/lowcloudvis_05_saunders.pdf.
- Peneva, E., Rachev, N., 2008. Decadal-scale changes of the temperature and precipitation in Bulgaria for the period 1961–1990, *Ann. de l'Univ. "St. Kl. Ohridski"*, 101, 39-53.
- Placko-Vrsnak, D., Mahovic, N., Drvar, D., 2005. Case Study on Genoa Cyclone with Mistral 13-16 February 2005, Meteorological and Hydrological Service of Croatia–DHMZ, UMeTrain, <http://www.eumetrain.org/data/7/7/intro.htm>.
- Saunders, W., 1950. *Meteor. Mag.*, 79, 213–219.
- Science Plan-Forecast Demonstration Project – Fog, 2011. <https://es.scribd.com/document/130208841/FOG-SC-PLAN>.
- Wantuch, F., 2001. Visibility and fog forecasting based on decision tree method, 2,3,1-15; https://www.researchgate.net/.../228420283_Visibility_and_fog.
- Wheeler, M., Atchison, M., Schumann, R., Taylor, G., Warburton, J., Yersavich, A., 1993. Analysis of rapidly developing fog at the Kennedy Space Center 1986 – 1990, Final Report, NASA, Kennedy Space Center, Under Contract NAS10-11844.
- WMO, 2014. Manual on Codes - International Codes, Volume I.1, 306. www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim.
- www.meteociel.fr/modeles/archives.php.
- www.ogimet.com/metars.phtml.en.
- www.ready.noaa.gov/READYamet.php.
- www.stringmeteo.com/synop/bolc_map.php.
- www.stringmeteo.com/synop/bg_stdday.php.
- www.wetter3.de/Archiv.
- www.wetterzentrale.de/topkarten.
- www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html.
- www.wetter3.de/Archiv/archiv_ukmet.html.
- Богаткин, О., 2010. Авиационные прогнозы погоды. Санкт-Петербург.
- Годев, Н., 1976. Синоптична метеорология, Наука и изкуство, София.
- Гроздев, Д., 2011. Типичен случай на преминаване на средиземноморски циклон над Източна България и западната акватория на Черно море, ISSN 1314-3379.
- Зверев, А., 1977. Синоптическая метеорология, Ленинград.
- Иванов, Г., 1993. Мъглите на летище Бургас за периода 1985-1991 г., СДК.
- Киров, К., 1929. Климатична скица на България, Сборник на БАН, 25, 11, 57-60.
- Писарски, П., 1956. Хидрология и метеорология, 6.
- Топузова, Ел., Рачев, Н., 2015. Мъгли над летище Бургас през периода 2008 – 2014 г., *Ann. de l'Univ. "St. Kl. Ohridski"*, 108, 115-132.
- Топузова, Ел., Рачев, Н., 2016. Метод за прогноза на радиационни мъгли над летище Бургас, *Ann. de l'Univ. "St. Kl. Ohridski"*, 109, 80-92.
- Топузова, Ел., Рачев, Н., 2017а. Прогноза на мъгли над летище Бургас, *Ann. de l'Univ. "St. Kl. Ohridski"*, 110.
- Топузова, Ел., Рачев, Н., 2017б. Синоптични обстановки, водещи до създаването на опасни за авиацията условия на летище Бургас, *Ann. de l'Univ. "St. Kl. Ohridski"*, 110.