

Технически университет – София
Енергомашиностроителен факултет
Катедра Топлоенергетика и ядрена енергетика

Доклад

Тема: Екстремни климатични условия, влияещи върху
безопасността на ядрените централи

Студент: ПЛАМЕНА СПАСЕВА
магистър, ЯЕ

София
2014

Въведение.

Ядрената авария в Япония през март 2011г. повдигна в обществото нови опасения за рисковете, свързани с безопасността на ядрените електроцентрали. Аварията беше причинена от две последователни събития: силно земетресение и резултатна вълна-цунами. Появата им е била много малко вероятна, особено във времева последователност. Тази комбинация от събития оказва въздействие също и върху реакцията при аварийни ситуации и вземането на правилни решения от страна на оперативния персонал, което води до малка вероятност за успех. В най-широк смисъл, аварията в Япония постави въпроса пред международната общност за необходимост от преразглеждане на аварийната готовност при поредица (комбинация) от много малко вероятни да се случат събития.

Натрупаният опит от експлоатация на ядрени съоръжения и редица аварийни ситуации, показват че досега няма голяма авария, първопричината за която да са събития от типа екстремни климатични условия или събития, свързани със слънчевата активност. Важността им обаче се отчита от силното негативно въздействие върху редица икономически отрасли, които са от особено значение за човечеството. Но появата на екстремните климатични условия в последните десетилетия се увеличава драстично. Наблюдават се различни климатични явления, които са нетипични за определени географски ширини, както и промяната на интензивността и силата им. Взети заедно тези събития показват една глобална тенденция за постепенната промяна на атмосферните процеси и климата на планетата. Също така поради периодичността на слънчевата активност, в близките няколко години се наблюдават различни явления, които оказват влияние върху редица отрасли, особено на производството и преноса на електрическа енергия.

В този смисъл, в изложението на доклада ще бъде направен предварителен анализ на опасностите за работеща ядрена централа от територията на България при различни екстремни външни условия и явления свързани със слънчевата активност. Целта е да се анализира уязвимостта на съоръженията от площадката на ядрената централа.

От дипломният проект [1] на тема „Разработване на алгоритъм за независим анализ на данни за изследване на климата“, съставен съвместно с проф. д-р Пламен Ангелов в Lancaster University (UK), възникна идеята за анализиране на различни процеси в атмосферата на Земята, чрез отчитане на промяната в динамиката на определени параметри. Този подход и направените резултати от предварителния анализ на опасностите, дава основа за допълнителна оценка на влиянието на външните събития и комбинация от тях върху безопасността на ядрена централа и подобряване на устойчивостта им от външно влияние.

1. Външни събития, влияещи на безопасността на ядрена централа

1.1. Международни регулаторни норми за влиянието на външни събития върху безопасността на ядрени централи

Международните норми са представени в Стандартите по безопасност на Международната агенция по атомна енергия (МААЕ). Те представляват норми, отговарящи на най-високите изисквания за ядрена безопасност и отразяват най-добрата практика в страните-членки на МААЕ. Те са надеждно средство по осигуряване на ефективното изпълнение на задълженията на страните-членки,

произтичащи от посочените в предния раздел Конвенции и Договори. Стандартите по безопасност се прилагат също при работата на проектантите, производителите на оборудване и операторите на ядрени инсталации по цял свят, с цел повишаване на ядрената безопасност. Те отразяват международния консенсус относно какво трябва да представлява високо ниво на безопасност и осигуряване на защита на хората и околната среда от вредното въздействие на йонизиращите лъчения. Стандартите се делят на три категории: Основи на безопасността, Изисквания по безопасност и Ръководства по безопасност.

Съгласно Стандартите по безопасност на МААЕ [2] - [3] външните събития се разглеждат и анализират в целия процес на избор на площадка, проектиране и експлоатация на ядрената централа, и разглеждат следните *сценарии*, описващи външни събития от природен характер :

- Земересение;
- *Екстремни метеорологични условия (температура, сняг, градушка, роса, замръзване на повърхности, суша);*
- Наводнения (цунами, сейши, бури, валежи, падане на язовирна стена, топене на лед, свлачища във водни обеми, промени на канали);
- Свлачища и лавини;
- Циклони (ураган, торнадо и тропическо торнадо);
- Абразивен прах и пясъчни бури;
- Мълния;
- Вулкан.

1.2. Национални регулаторни норми за влиянието на външни събития върху безопасността на ядрени централи

Националното регулиране се осъществява от Закона за безопасно използване на ядрена енергия (ЗБИЯЕ) [4] и по-точно от неговите подзаконовни нормативни актове, засягащи различни области на дейности, свързани с ядрената енергия, ядрената безопасност и радиационната защита. За целите на доклада ще бъде разгледана само Наредбата за осигуряване безопасността на ядрените централи [5], в чийто текст е засегната темата за *проектните основи* на всяко ядрено съоръжение. Наредбата е разработена въз основа на Стандартите за безопасност на МААЕ и отчита референтните нива на изискванията за безопасност на ядрени централи, определени от Асоциацията на западноевропейските органи за ядрено регулиране. Като проектните основи включват външни събития, които трябва да се вземат предвид при анализа на безопасността.

Съгласно текста на Наредбата за осигуряване безопасността на ядрените централи :

Чл. 13. Проектът на ЯЦ трябва да отчита следните *външни събития и опасности*, характерни за площадката на ЯЦ:

1. *екстремни климатични условия;*

2. земетресения;
3. външни наводнения;
4. падане на въздухоплавателно средство;
5. индустриални дейности и транспорт в близост до площадката;
6. вредителство и диверсия;
7. електромагнитни полета.

Тези външни събития могат да предизвикат появата на т.нар. *постулирани вътрешни изходни събития* показани в Чл. 12. (1) на НОБЯЦ [5]. Последните се групират съответно в отделни категории на състоянията на ЯЦ, в зависимост от очакваната честота на поява за календарна година.

2. Опасности от ядрените съоръжения

Според текста на ЗБИЯЕ [4] авария представлява извънредно събитие, което води или може да доведе до надхвърляне на лимитите или до нарушаване условията на радиационно въздействие върху човека и околната среда, определени в нормите и правилата за ядрена безопасност и радиационна защита. Аварии могат да предизвикат опасности в съоръженията от ядрения горивен цикъл като механизмът за възникването им е свързан с изхвърляне на радиоактивни вещества в околната среда или с потенциално облъчване на персонала или населението. Това може да бъде предизвикано от нарушаване на контрола и управлението на верижна реакция на делене, образуване на критична маса, нарушаване отвеждането на топлина от облъчен ядрен материал или повреждане на ядрен материал, включително ядрено гориво.

Сама по себе си опасността е случайна величина, за определянето и анализирането на която са необходими вероятностни оценки.

Натрупаният опит от случили се в историята аварийни ситуации, събития, факти и фактори позволява да бъдат формулирани няколко твърдения за опасността на ядрено съоръжение. Всяко ядрено съоръжение е *потенциално опасно* [6], като потенциалността на опасността може да се прояви по *случайни сценарии и при определени условия*. При експлоатация на съоръженията от ядрено горивния цикъл е *невъзможно да бъде достигната абсолютна безопасност*. Опасността се *вражда* при избор на площадка, проектиране, строителство и въвеждане в експлоатация и се проявява при аварии по време на експлоатация и етапите от задния край на жизнения цикъл на ядреното съоръжение. При *нарушаване на определени прагови значения на потоците на вещество, енергия и информация* опасността от ядрени съоръжения съществува *реално*. Праговете или пределно допустимите значения на радиологичните опасности се определят от условията за задържане на радиоактивни вещества, йонизиращи лъчения и от надеждността на системите, съоръженията, и персонала на ядреното съоръжение. Като източниците на опасности са процесите, явленията и системите на ядрените съоръжения. Също така опасностите възникват при неконтролируема верижна реакция на делене, поява на дефекти, откази и други неизправности в техническите системи, включително и софтуера, както и при неправилна експлоатация на ядреното съоръжение при грешки на оперативния персонал. За по-нагледно

представяне на проявлението на опасността може да се направят следните връзки:

Изходно събитие → Сценарий → Опасност

Дефект → Опасен отказ

Отказ → Сценарий → Опасен отказ

Опасността от ядрените съоръжения се влияе от околната среда и техносферата. Негативно влияние оказват също екстремните климатични условия, сеизмичните въздействия, външните пожари, наводнения, човешка дейност, тероризъм и др.

3. Метод „Предарителен анализ на опасностите“

3.1. Същност на метода „Предарителен анализ на опасностите“

Първият метод, който се прилага за оценка на опасността от екстремни външни събития е полу-количествения метод „Предарителен анализ на опасностите“ (ПАО). Неговата същност е индуктивно логико-експертна оценка, при която на базата на случили се или възможни да се случат индивидуални събития в определена система, чрез прилагане на логически разсъждения по възможните реакции на системата, се стига до оценка на възможно възникване на резултиращо събитие (отказ) [6]. Методът се използва за [7]:

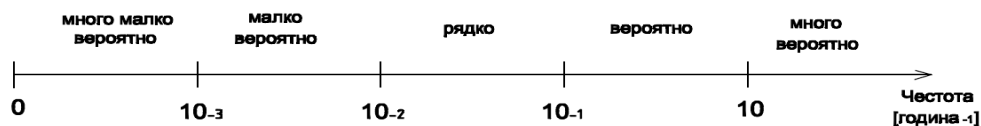
- идентифициране на всички потенциални опасности и опасни събития, които могат да доведат до авария;
- категоризира определените вече опасни събития спрямо тежестта на последициите от тях;
- идентифицира съответните коригиращи мерки и действия.

Методът на Предварителния анализ на опасностите може да бъде описан в пет стъпки като предварително сме се запознали с устройството на разглежданото съоръжение или система, т.е. от какво зависи (вход), функции и какво осигурява (изход). За да се направи правилен анализ е необходимо разделянето на лесно управляеми части, например в следните три категории: елементи, процеси и части, които са изложени на риск.

Методът ПАО включва следните няколко стъпки:

- 1) Идентифициране на опасностите;
- 2) Определяне на причината (источника) на опасностите;
- 3) Определяне на вероятността за поява на опасностите;
 - *Много вероятни* – появяват се един път на месец или по-често;
 - *Вероятни* – вероятно ще се появят един път на година;
 - *Редки* – вероятно ще се появят един път на 10 години;
 - *Малко вероятни* – вероятно ще се появят един път на 100 години;

- *Много малко вероятни* – вероятно ще се появят един път на 1000 години.



Фигура 1. Логаритмична скала на вероятностите, [7]

4) Определяне на потенциалните ефекти от опасностите:

А. Отчитане на общи ефекти на опасността от отказ;

Б. Категоризиране на тежестта от ефектите на опасното събитие:

- *катастрофални* – могат да причинят многократно повреда, смъртни случаи или загуба на оборудване;

- *критични* – могат да причинят тежки повреди, заболявания или главно имуществени щети;

- *пределни* – могат да причинят минимални повреди, минимални ефекти върху здравето на персонала и минимални имуществени щети;

- *пренебрежими* - вероятно няма да афектират върху безопасността или здравето на персонала, но все още се нарушават безопасностните и здравни норми (граници);

5) Създаване на първоначален план за процедурни изисквания и мерки, с цел елиминиране или управление на рисковете от опасностите.

Рискът е оценен като комбинация от дадено събитие/последствие и тежестта на ефекта от него, което дава възможност за категоризиране на събитията-та/последствията и изобразяване чрез т.нар. матрица на риска [7].

Честота/ последствия	Много малко вероятно	Малко вероятно	Рядко	Вероятно	Много вероятно
Катастрофални	Yellow	Red	Red	Red	Red
Критични	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
Пределни	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
Пренебрежими	Green	Green	Green	Yellow	Yellow



Приемливи - само ALARP действия са разглеждат



Приемливи - използване на принципа ALARP и допълнително разглеждане



Неприемливи - мерки за намаляване на риска

Фигура 2. Матрица на риска, [7]

Резултатите от предварителният анализ на опасностите може да бъде представен в табличен вид като се посочва опасността, източника и причината за нея, превантивни мерки, вероятност, тежест на ефекта.

Ниво	Име	Описание
H	<i>Високо (High)</i>	Висок и неприемлив риск. Необходимо е да се направи отново анализ, за да даде по-добра оценка на риска. Ако и този анализ покаже неприемливо ниво на риск или средно ниво на риск е необходимо да се направи промяна на проекта или друг вид промяна за намаляване на критичността.
M	<i>Средно (Medium)</i>	Рискът може да е приемлив, но трябва да бъдат разгледани промяна на проекта или друга промяна ако е практически възможно. Необходимо е да се направи отново анализ за по-добра оценка на риска. Когато се оценява трябва да бъде взето предвид необходимостта от коригиращи мерки.
L	<i>Ниско (Low)</i>	Рискът е малък и не е необходимо неговото намаляване.

Таблица 1. Нива на риска и действия спрямо тях, [7]

Номер	Опасност	Изходно събитие	Вероятна причина	Превантивни мерки	Вероятност	Тежест на ефекта	Риск (ниво)	Коментари

Таблица 2. Предварителен анализ на опасностите в табличен вид [7]

Предварителният анализ на опасностите може да бъде използван като основа за по-детайлното разглеждане на възможни събития на по-късен етап, с помощта на метода на дървото на отказите и метода на детайлния анализ на отказите на оборудването (анализ на видовете откази и последствията от тях).

3.2. Методика по прилагане за ядрена централа

За целите на доклада ще бъде представена методиката по прилагане на метода на Предварителния анализ на опасностите, която беше използвана в дипломният проект [8], и която беше приложена за идентифициране на рисковете от опасностите при влиянието на екстремни климатични условия върху площадката на съществуваща ядрена централа. Етапите могат да се представят по следния начин:

Етап 1: В началото на анализа е важно да се направи разделяне на разглежданата площадка на зони и/или отделни структури. Това е необходимо с цел по-детайлно идентифициране на опасностите, тъй като при някои зони рискът от поява на опасности е вероятно да бъде по-висок;

Етап 2: Следващата стъпка е запознаване със системите и конструкциите във всяка зона, на които външните екстремни условия биха оказала най-голямо

въздействие, и отказа на които може да доведе до развитие на по-сериозни и опасни сценарии за целия процес на експлоатация на ядреното съоръжение;

Етап 3: Определят се характерните за всяка зона опасности, изборът на които може да се улесни с използването на готови таблици на опасностите;

Етап 4: Отчита се ефектът върху конкретна зона т.е. какви последици може да предизвика;

Етап 5: Посочват се мерки, които са взети или които впоследствие ще се вземат за предотвратяването на влиянието на опасното събитие или отказ;

Етап 6: Определя се рискът като функция на вероятността това опасно събитие да се случи и тежестта от последиците. При получаване на висок и среден риск е необходимо по-детайлно анализиране на въздействието на различните фактори на опасността и поддържането на достатъчно високо ниво на безопасност, което в случая за ядрено съоръжение е от водещо значение

3.3. Приложение на методиката на ПАО за 5 и 6 блок на АЕЦ „Козлодуй” за опасности, свързани с екстремни климатични условия

Въз основа на метода ПАО, е разработена методика по прилагането му конкретно към 5 и 6 блок на АЕЦ „Козлодуй” [8]. Данните са взети от „Обобщен доклад за проведените в АЕЦ „Козлодуй“ стрес тестове“ (2011г.) [36].

Първоначално площадката на АЕЦ „Козлодуй” се разделя на отделни зони, което съответства на основните сгради и съоръжения в плана на централата. Зоните са съответно:

1. Главен корпус – реакторно отделение на 5 и 6 блок
2. Машинна зала и електротехнически средства на 5 и 6 блок
3. Спец-корпус 3 на 5 и 6 блок и естакади
4. ХОГ
5. СХОГ
6. Резервна ДГС-3
7. Бризгални басейни
8. ЦПС 1-4
9. ОРУ 400/220kV

На таблица 3 е показано как методиката на ПАО е приложена за първата зона Главен корпус – реакторно отделение на 5 блок.

Резултатите от приложената методика на ПАО за екстремни климатични условия показват обекти от площадката, които имат **висок риск**:

- *МЗ и електротехнически средства* – причината е влиянието на екстремни количества валежи и екстремни суши;
- *ХОГ*- влияние на екстремни количества сняг и снежна покривка, както и екстремни валежи;
- *СХОГ* - влияние на екстремни количества сняг и снежна покривка, както и екстремни валежи;
- *ЦПС* - влияние на екстремни количества сняг и снежна покривка;

- *ОРУ 400/220kV* – причините са влияние на екстремни количества сняг и снежна покривка, екстремно обледяване (комбинация между влажност, вятър и ниски температури), екстремно количество мълнии и екстремно количество валежи.

От направеният анализ ясно се вижда, че при поява на екстремни климатични условия най-голямо влияние се оказва върху ОРУ. От голямо значение е, че именно ОРУ е мястото, което свързва АЕЦ "Козлодуй" както с ЕЕС на България, така и с ЕЕС на съседни държави. Екстремните условия действат директно върху съоръженията на уредбата, които служат както за разпределение и пренос на електрическа енергия с високо напрежение, така и за защита. Такива съоръжения могат да са кабелни трасета, носещи конструкции, прекъсвачи, разеденители, предпазители, изолатори, трансформатори, автотрансформатори, релейни защиты и друг тип автоматика за управление. Също така смущения от различен тип оказват сериозно влияние на турбо-генераторите, които са свързани към парната турбина на всеки от блоковете.

№	Опасност	Инициращо събитие	Вероятна причина/ ИЗТОЧНИК	Превантивни/Условни мерки	Вероятност	Клас на тежест	Риск	Коментар
1	Разрушаване или повреда на сградата на РО (и ХО) (и ХО)	Натоварвания от екстремни ветрове	Екстремно високи скорости на вятъра	Оразмеряване на сградата на РО за натоварване от вятър с 11% повече от нормативните	Много малко вероятно ($1 \cdot 10^{-4}$ за 1 г.)	Катастр офално	Среден	Влияние върху системите разположени в РО – системи за безопасност при нормална експлоатация и аварийни процеси описани в раздел III.1.
2	Разрушаване или повреда на сградата на РО (и ХО)	Натоварване от въздушна ударна вълна (смерч)	Екстремно високи скорости на въздушни вълни	Сградата има резерв на носимостоспособност за натоварване от смерч или др. ек- стремни верове	Много малко вероятно ($1,26 \cdot 10^{-8}$ – 1×10^{-7} за 1г.)	Катастр офално	Среден	
3	Разрушаване и повреда на сградата на РО (и ХО)	Натоварване от снеговалежи и снежна покривка	Екстремни количества сняг	Оразмеряване с 57% повече от нормите за екстремни натоварвания от сняг	Рядко 3×10^{-2} за 1г.	Критичн о	Среден	
4	Влияние върху нормалните режими на работа на отговорни за безопасността системи в РО	Натоварване от екстремно високи температури	Екстремно високи температури	Не водят до преки механични повреди Повреди: Оразмеряване с проектна максимална температура +43,3°C	Рядко $2,5 \times 10^{-2}$ за 1г.	Критичн о	Среден	Възможно е въздействие върху системи ОВК
5	Влияние върху нормалните режими на работа на отговорни за безопасността	Натоварване от екстремно ниски температури	Екстремно ниски температури	Не водят до преки механични повреди ; Оразмеряване с проектна минимална температура -29,0°C	Рядко $2,5 \times 10^{-2}$ за 1г.	Критичн о	Среден	
6	Влияние върху нормалните режими на работа на отговорни за безопасността	Натоварване от обледяване и висока влажност	Екстремно обледяване и влажност	Не водят до преки механични повреди	Рядко 2×10^{-2} за 1г.	Предел но	Среден	Влияние върху нормалните режими на работа осигуряващи системи за безопасност в РО
7	Повреда на сградата на РО (и ХО)	Натоварване от екстремни валежи	Екстремни валежи	Не водят до преки механични повреди	Вероятно $6,2 \times 10^{-1}$ за 1г.	Предел но	Среден	
8	Влияние върху нормалните режими на работа на отговорни за безопасността системи в РО	Липса на охлаждаща работна среда	Екстремни суши	Не водят до преки механични повреди	Рядко 1×10^{-2} за 1г.	Критичн о	Среден	

Таблица 3. Приложена методика на метода ПАО за зоната на Главен корпус на 5 и 6 блок [8]

4. Екстремни климатични условия и предпоставки за тяхното разглеждане

4.1. Предпоставки за разглеждането на екстремните климатични условия като фактори, които влияят на безопасността на ядрените централи

Безопасността на ядрена централа изисква ядрените съоръжения и свързаните с тях технически системи да бъдат разположени, проектирани, построени и експлоатирани, така че да предпазват населението и околната среда от неконтролируемо освобождаване на радиоактивни вещества. Външни събития (от антропогенен и природен характер) играят главна роля в изпитването на защитите на централата и е необходимо да бъдат взети съответните проектни обезпечавачи мерки, за да се гарантира адекватна безопасна защита при случаи на поява на такива събития [2].

Опита от експлоатацията на ядрени съоръжения в последните 60г. [3] и събраните бази данни за различни аварийни събития [9-11] доказват, че редките екстремни външни събития са едни от най-значимите инициатори за деградация на дълбоко ешалонираната защита. Според сериозността на техните последствия, могат да се очертаят няколко важни външни събития: ниски и високи температури на околната среда, силен вятър, наводнение, мълнии, биологично замърсяване, електромагнитна интенференция, земетресение и други. Те могат директно да засегнат ядрената централа или да доведат до неспособност за изпълнение на функциите по безопасност чрез отказ на външното електрозахранване, неработоспособност на системите за остатъчно топлоотделяне, невъзможност за евакуация на населението и достъп до маршрутите за евакуация.

Детайлен анализ на аварийни събития [12], докладвани и записани в базите данни IRS [9] и INES [10] на МААЕ позволяват да се направи статистическа оценка на важността от външни събития, засягащи безопасността на ядрените централи. Статистиката включва над 3000 случили се събития в периода 1980-2003г. На Фигура 3, 4 и 5 са показани съответно резултатите от анализите на данните за причини за откази, природа на външните събития довели до откази и къде е най-критично от гледна точка на безопасността е тяхното въздействие. В заключение могат да се направят следните изводи: дори и в малкия времеви интервал има потвърждение на важността на такива външни събития, които обикновено не се разглеждат в проектните основи (обледяване, електромагнитна интенференция и биологични замърсяване); процента на докладваните аварийни събития, причинени от външните влияния, е много нисък (3%), но тези влияния имат висок процент при сериозните последствия, като например разрушаване на физическите бариери. Затова обикновено външните събития са предизвикателство за устойчивостта на бариерите срещу разпространение на радиоактивни вещества в околната среда, показвайки техния потенциал т.е. способни ли са да попречат на въздействието на големи значителни събития, засягащи безопасността на ядреното съоръжение.



Фигура 3, Статистиката [12] показва дяловете на причините за откази в ЯЦ записани в INES [10] и IRS [9] в периода 1980-2003г.

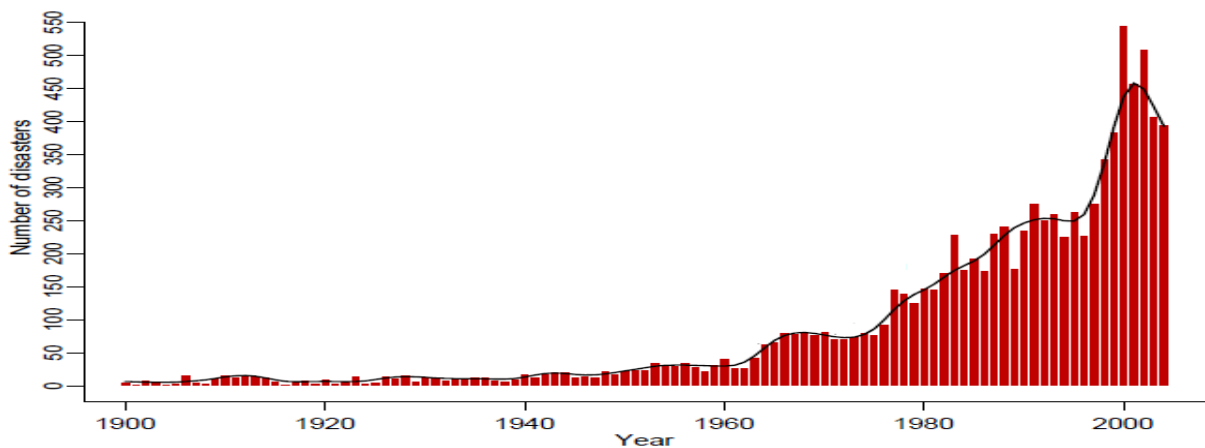
Жизненият цикъл на едно ядрено съоръжение продължава приблизително 150г. като през целия този времеви период върху съоръжението се оказва влияние от различни външни и вътрешни събития, които могат по определен сценарий да доведат до редица аварийни ситуации. Околната среда е един от най-значимите влияещи външни фактори, тъй като тя оказва негативно въздействие върху нормалната работа на ядреното съоръжение и свързаните с него системи, структури и компоненти. До този момент в света се е случила една крупна авария с освобождаване на радиоактивни вещества, причината за която е поредица от външни събития (земетресение и вълна-цунами). В последните десетилетия, както вече беше споменато, се наблюдава увеличаване броя на бедствията от природен характер, което може да бъде потвърдено от направената статистика на Международна база данни за бедствия (OFDA/CRED) през по-голям времеви период 1900-2004 (Фигура 6).



Фигура 4. Анализ и статистика [12] на природата на външните събития повлияли на ЯЦ в периода 1980-2003г. съгласно INES [10]



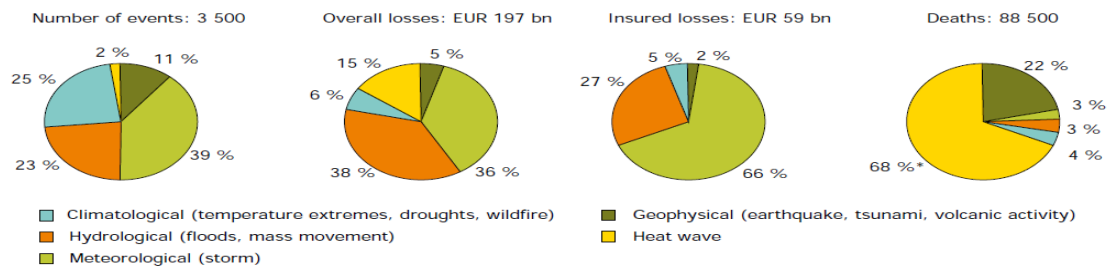
Фигура 5. Дял на външните събития съгласно различни категории на докладваните проблеми при експлоатацията на ЯЦ според INES [10]



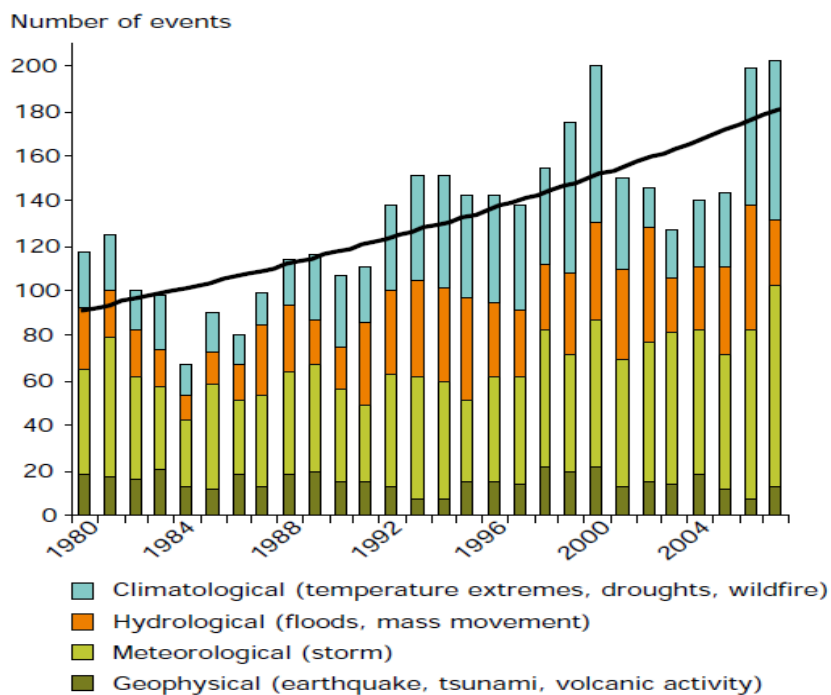
Фигура 6. Общ брой на докладваните природни бедствия по света през периода 1900-2004г.; източник: The OFDA/CRED International Disaster Database , www.em-dat.net

Също така на Фигура 7 а) е показана извадка от , според който дяла на климатичните, метеорологичните и хидрологични природни събития расте с всяка изминала година и ще продължава за в бъдеще.

В последните няколко десетилетия появата на екстремни природни събития започва тенденциозно да се увеличава. Наблюдават се редица промени в атмосферата и климата на Земята, причините за които са от различен характер (природен и антропогенен). Влошените метеорологични условия са оказали въз- действие върху редица икономически отрасли като енергетика, транспорт, земеделие, туризъм и др. Влиянието на тези събития върху производството и пренасянето на електрическа енергия е от значителна важност за човечеството, тъй като повечето дейности на човек се свързват именно с нейното използване. С подходяща обработката на данни за аварийни събития и откази на електропреносната система в глобален мащаб [13] може да се направи статистика за тенденциите на броя им и първо-причините за тяхното възникване. На Фигура 8 а) са представени процентните дялове на причините за аварията, а на б) може да се види увеличеният брой на събитията, като в последните 5г. се наблюдава дори тяхното удвояване.



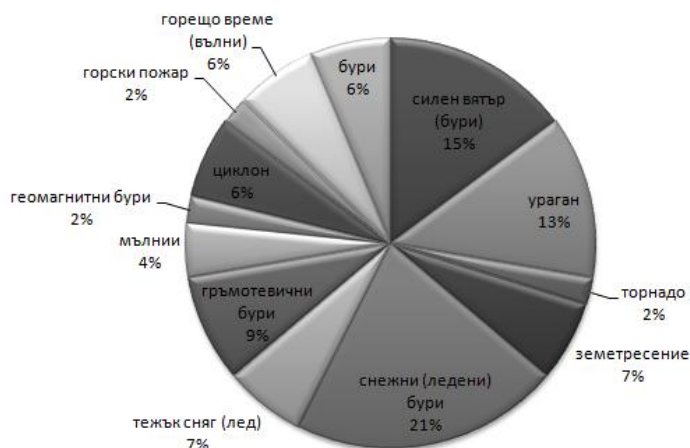
a.

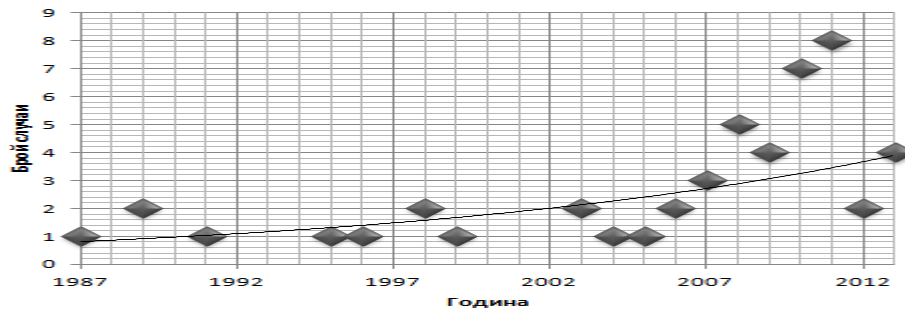


б.

Фигура 7. Природни бедствия в района на Европа в периода 1980-2007г.
 Източник: Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (MunichRe),
 Geo Risks Research, NatCatSERVICE, 2008.

Дяловете на мълниите (4%), геомагнитни (2%) и гръмотевични бури (9%) не са големи, но са от голямо значение поради значимостта на последиците от тях. Това се наблюдава особено на места, където са съсредоточени големи мощности, като една ядрена електрическа централа.





б.

Фигура 8. Анализ на а) причините от природен характер предизвикали големи аварии в електропреносната мрежа по света, случили се в периода 1960 – 2013г. и б) тенденцията през годините съгласно http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_major_power_outages

4.2. Тенденции в промяната на климата

4.2.1. Тенденции в промяната на климата в световен мащаб

Според четвъртия доклад на Европейската агенция за околна среда [13] промяната на климата може да се посочи главно с няколко отчетени ключови фактора като:

- увеличение на температурата;
- увеличение на морското равнище;
- топене на ледници, снежни покривки и морски лед;
- промяна на валежите;
- увеличение на интензивността и честотата на екстремните климатични условия в много региони;
- увеличен риск от наводнения и суши;
- увеличена заплаха за човешкото здраве;
- вреди за икономически сектори като енергетика, транспорт, агрокултури и др.

Средната световна температура се е покачила с 0,8°C след индустриализацията. В Европа затоплянето е по-голямо най-вече в югозападните, североизточните и планинските части. Това се дължи почти изцяло на парниковият ефект, който ще бъде описан по-нататък в изложението.

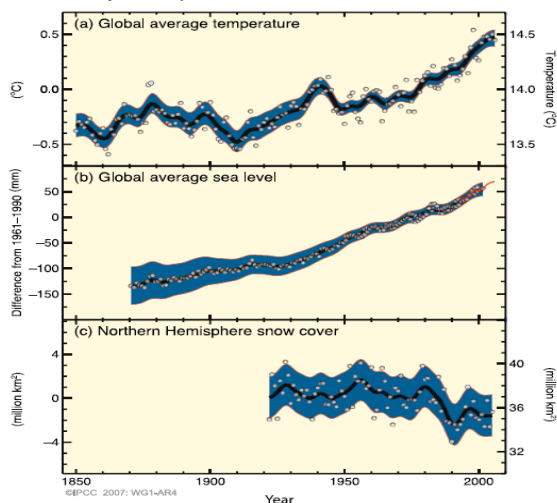
През последните 50г. се наблюдават по-чести и по-интензивни екстремно горещи дни и намаляване броя на дните с екстремно ниски температури, като тази тенденция ще продължава за в бъдеще [12]. Валежите показват по-големи пространствени изменения над Европа. Годишните промени на валежите вече дори влошават разликите между „влажната” северна част (увеличение от 10 до 40% през 20век) и „сухата” южна част (намаление с до 20% в някои части). Интензивността на екстремните валежи (събития с големи и продължителни дъждове) се увеличава за последните 50г. и за в бъдеще се очаква появата им да става по-често. Няма ясна тенденция обаче в промяната на честотата и интензивността на бурите, която да е била обект на изследване, но според

статистиката силата на най-големите бури се увеличава, макар и с постепенна честота.

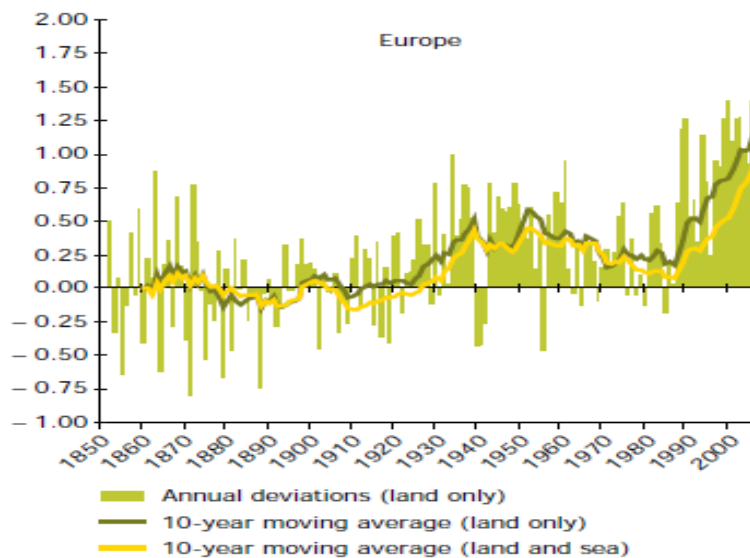
Неопределеността при очертаването на промяната при годишните валежи, честотата и интензивността на екстремните събития все още е по-голяма от тази при увеличението на температурата. Климатичните вариации и промени допринасят за увеличение на концентрацията на озона в тропосферата над централна и югозападна Европа, като се очертава да нарасне за в бъдеще.

Описаните дотук промени на атмосферата и климата водят до интензифициране на хидроложкият цикъл [13]. Обаче промени в използването на земята, различни начини за използване на водата и големите количества използвана вода оказват също значителни промени върху природните потоци, правейки трудно откриването на тенденции за промени в хидроложките променливи, които са предизвикани от промяната на климата. Най-общо казано годишните речни потоци се увеличават в северните части в сравнение с южните, където намаляват, като разликата се увеличава значително. Очакват се също силни промени в сезонността, т.е. по малко водни потоци през лятото и по-големи през зимата. Като следствие от това ще е появата на суши или екстремно количество водни потоци най-вече по южните части на Европа.

Увеличението на температурата на водата в езерата и реките с 1-3°C през 20 век е оказало влияние върху периода на задържане на ледена покривка с 12 дни по-малко. Тези промени могат в частност да се дължат на климатични промени, но от друга страна могат да са били предизвикани от голямото използване на вода за охлаждане в различни производствени процеси (например електрически централи).



Фигура 9. Промяна на а) средната температура по света, б) средното морско ниво и с) снежната покривка на северното полукуълбо. Източник: Intergovernmental Panel on Climate Change (2007)



Фигура 10. Температурно отклонение за периода 18850-1999
Източник Climatic Research Unit of the University of East Anglia

4.2.2. Тенденции в промяната на климата в национален мащаб

Според Третият Национален План за действие по изменение на климата [14] могат да се посочат следните фактори, които показват промяната на климата:

- От края на 70-те години на миналия век в България се наблюдава тенденция към затопляне; през втората половина на XX век зимите са по-меки.
- 20 от последните 23 години след 1989 г. са с положителни аномалии на средната годишна температура на въздуха, спрямо климатичната норма (1961–1990 г.).
- Средната годишна температура през 2011 г. е с 0,4°C над климатичната норма. Това е поредната, 14-та година, с температури по-високи от обичайните за страната.
- Най-дълги периоди на засушаване са наблюдавани през 40-те години и последните две десетилетия на XX век, а най-значителните суши – през 1945 и 2000 г.
- Наблюдават се повече и по-дълги периоди на засушаване, следвани от сериозни бури и тежки наводнения с разрушения и жертви.
- Увеличава се честотата на екстремните метеорологични и климатични явления като: значително увеличение на средния брой дни с денонощни суми на валежите над 100 мм – с около 30% за периода 1991-2007 г. спрямо базисния период (1961-1990 г.); увеличение на регистрираните в метеорологичната мрежа случаи с проливни валежи; зачестяване на случаите на пролетно-летен тип облачност с валежи от дъжд, гръмотевични бури и градушки през зимни месеци като януари и февруари; увеличена честота на средния брой дни с гръмотевични бури

и градушки през април и септември в периода 1991-2006 г., спрямо същите за базисния период.

- Годишната амплитуда между максималната и минималната температура на въздуха намалява – минималната температура се повишава по-бързо от максималната.
- Снежните месеци в планините намаляват, а дебелината на снежната покривка показва трайна тенденция към изтъняване.
- Горната граница на широколистните гори се измества към по-голяма височина.
- Данните от фенологичните наблюдения показват изпреварване в развитието със 7-15 дни в различните климатични райони, което недвусмислено свидетелства за затопляне на климата през последните 30 години, в сравнение с предишни периоди.

4.3. Определящи фактори за промяната на климата

За да се представят и разберат по-добре определящите фактори е необходимо кратко представяне на композицията и състава на атмосферата на Земята.

4.3.1. Атмосфера и климат на Земята

Атмосферата на Земята е слой от газове, който се разполага около планетата и се задържа от силата на гравитацията. Заедно с океаните, атмосферата формира климата на Земята и климатичните модели, като в някои части условията за живот са по-добри, в други – не чак толкова. Но атмосферата не е статична, променлива е и зависи от много динамични процеси.

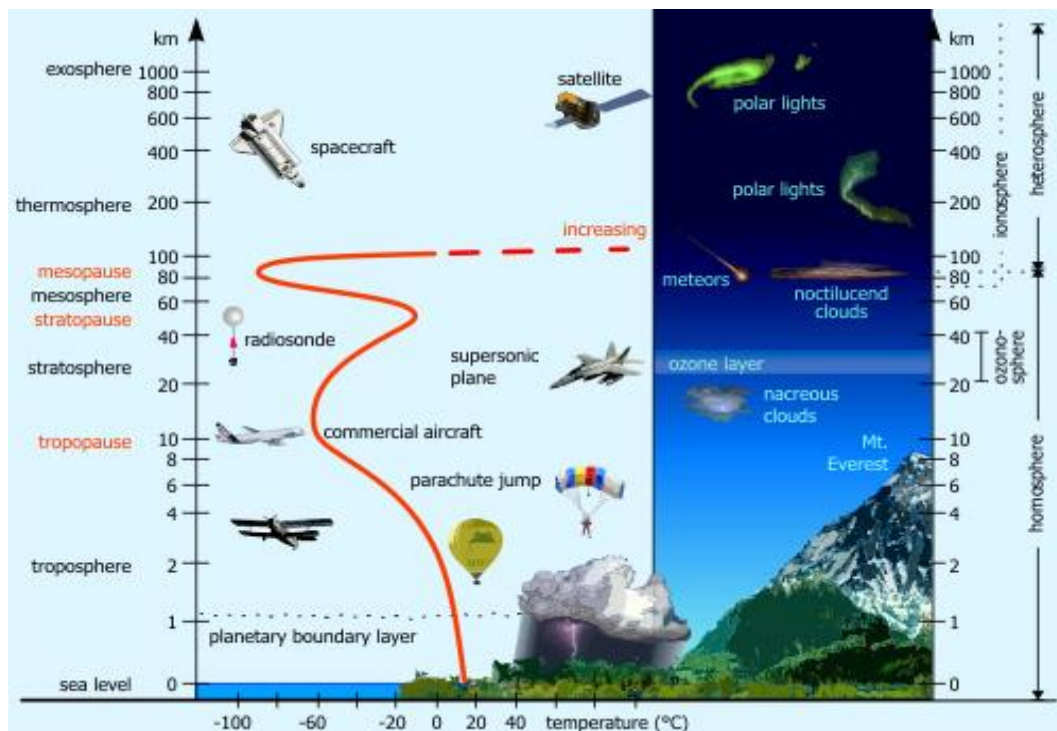
Главната роля на атмосферата е да защитава и да прави възможен животът на Земята като абсорбира ултравиолетовото слънчево излъчване, затопляйки повърхността на планетата и контролирайки температурните променливи.

Съдържанието на атмосферата [22] е главно представено от няколко компонента: азот (N_2), кислород (O_2), аргон (Ar). Водната пара представлява 0,25% от атмосферната маса като концентрацията ѝ варира в доста широки граници спрямо температурите. Останалите газове или т.нар. „следи от газове” (trace gases) са: въглероден диоксид (CO_2), метан (CH_4), азотни оксиди (N_2O и NO_2), озон (O_3) и други показани в Таблица 4. Последните посочени газове се наричат също парникови газове, тъй като те абсорбират и излъчват поетата слънчева радиация в инфрачервения спектър. Въздухът в атмосферата съдържа също химически компоненти като аерозоли и малки частици, чиито произход може да бъде от природен характер или в резултат на антропогенна дейност.

Атмосферата може да бъде разделена на няколко основни слоя, според промяната на налягането, температурата и плътността. Слоеве са показани на Фигура 11. по височина от повърхността на Земята и са съответно тропосфера, стратосфера, мезосфера и термосфера. Температурата има доста сложен профил и на някои места може да бъде постоянна, а на други да расте с височина. Но температурният профил като цяло е полезен в разпознаването на границите на различните атмосферни слоеве.

Газ	Обем
Азот (N ₂)	780,840 ppmv* (78.084%)
Кислород (O ₂)	209,460 ppmv (20.946%)
Аргон (Ar)	9,340 ppmv (0.9340%)
Водороден диоксид (CO ₂)	397 ppmv (0.0397%)
Метан (CH ₄)	1.79 ppmv (0.000179%)
Азотен диоксид(N ₂ O)	0.325 ppmv (0.0000325%)
Водороден оксид (CO)	0.1 ppmv (0.00001%)
Озон (O ₃)	0.0 to 0.07 ppmv (0 to 7×10 ⁻⁶ %)
Азотен диоксид (NO ₂)	0.02 ppmv (2×10 ⁻⁶ %) (0.000002%)
Водна пара (H ₂ O)	~0.25% by mass over full atmosphere,
CFC11 (Freon 11)	locally 0.001%–5%
CF2C12 (Freon 12)	200 ppt ² (0.00000000002%)
	350 ppt(0.000000000035%)

Таблица 4. Състав на атмосферата, *ppmv – частици на милион от обема; източник: Carbon dioxide,NOAA Earth System Research Laboratory, (updated 2013-03). Methane, IPCSTAR table 6.1, (updated to 1998)



Фигура 11. Структура на атмосферата на Земята, източник: <http://www.kowoma.de/en/gps/additional/atmosphere.htm>

За целите на доклада ще бъдат разгледани само първите два слоя на атмосферата– тропосфера и стратосфера.

Тропосферата е най-ниският атмосферен слой [23]., който се разполага до 7-16км в зависимост от географската ширина. Климатичната система в този слой се образува от захващането на слънчевата радиация и движенията на въздуха.

Тук се съдържа около 80% от въздушната маса и 99% от водната пара в атмосферата. Количеството на водата е променливо, тъй като преминава през различни агрегатни състояния поради процесите на изпарение, кондензация и формиране на облаци. С увеличението на височината водната пара значително намалява, което може да бъде обяснено с намаляването на температурата и съответно намаление на налягането на наситената пара. Другите основни газове в тропосферата са N_2 , O_2 , CO_2 , H_2O [24].

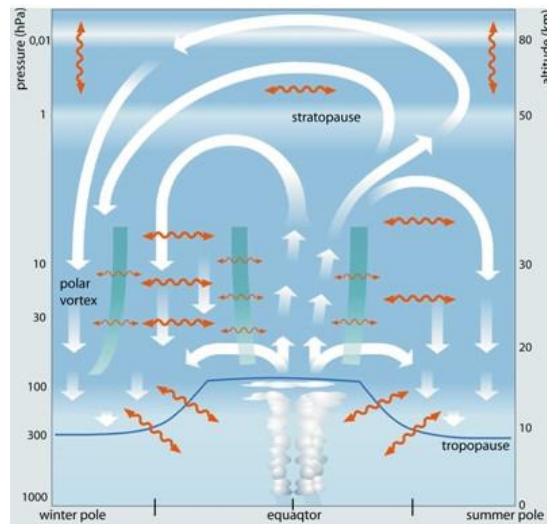
Температурният профил в тропосферата зависи от процеса на абсорбиране на слънчевата радиация (от определени газове, включително CO_2 и H_2O), която се появява над повърхността на Земята и затопля най-ниските части на атмосферата, в резултат на което се получават турбулентни и конвективни процеси [25].

Стратосферата слой, който се разполага след тропосферата на височина от 10-13км до към 50км. Температурният профил тук е почти противоположен с този в тропосферата – ниски температури в долните части и високи в горните. Стратосферата е динамично стабилна и в нея отсъства процеси на конвекция и турбулизиране на въздуха. Поради това попадналите в този атмосферен слой компоненти престояват доста дълго време, което от своя страна представлява опасност на по-късен етап.

Между описаните атмосферни слоеве съществува непрестанно движение на въздушна маса [26]. То представлява процес на циркулация на въздуха нагоре от тропосферата към стратосферата в района на тропическите географски ширини и движение надолу при района на полксите.

Покачването на температурата по височина е резултат от процеса на образуване на озон (O_3), при който молекула кислород (O_2) абсорбира ултравиолетовото слънчево излъчване [23]. Стратосферата съдържа приблизително около 90% от озона на Земята. Основната му роля е да предпазва повърхността от вредната слънчева радиация и да спомага за поддържането на нормални условия за живот. Също така той може да бъде разрушен от някои газове, съдържащи се основно в тропосферата и попаднали в стратосферата под действие на движението на въздуха. Метанът може да причини индиректно намаляване на озона, защото образува т.нар. свободни радикали (например хидроксилни радикали OH) с кислорода (O_2). Хлорофлуоровъглеродите или познати като CFCs (и Фреони) в комбинация с ултравиолетово излъчване са едни от най-големите разрушители на озон. Други вещества, които причиняват намаление на озона са халогените (съдържащи бром), NO_2 и водна пара (H_2O).

Климатът на Земята се определя от системата атмосфера, земна повърхност и океани. Представлява многогодишен статистически режим на времето, който е характерен за определена географска ширина [22]. Основните климатообразуващи фактори са слънчевата радиация, атмосферната циркулация и средната годишна температура.



Фигура.12. Циркулация на въздушна маса от тропосферата към стратосферата; източник , Frankfurt University (accessed March 30, 2010)

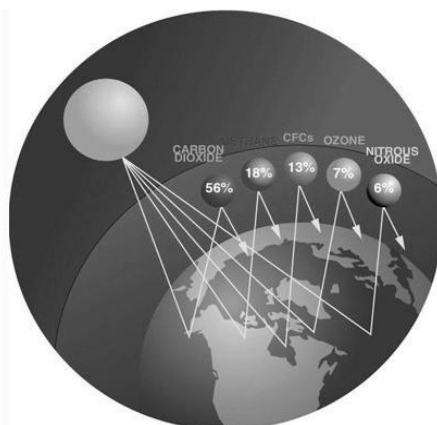
4.3.2. Определящи фактори за промяната на климата

Химичният състав на атмосферата се определя от природни фактори като вулканичната активност и от различни антропогенни дейности като изгаряне на твърди горива, обезсоляване и др [22]. Двата вида фактори са основни за движението и обмяната на много компоненти (вода, въглерод, азот и сяра) между атмосферата, океаните и сушата. За да се разберат правилно промените на климата е важно да се разбере същността на тези процеси [27]. Сложните взаимодействия между цикличността на компонентите на атмосферата, слънчевата радиация и много други процеси, води до верига обратни връзки. Това може да даде обяснение за промяната на концентрацията на атмосферните компоненти и температурата (положителна обратна връзка) [13] или обратният случай (отрицателна обратна връзка). Като пример за отрицателна обратна връзка може да се посочи съдържанието на CO_2 във въздуха, което се поддържа от растежа на растителността, водещо до по-голямо поемане от растенията на CO_2 от атмосферата. Затоплянето на океаните поради увеличения обмен на CO_2 от океаните към атмосферата, от своя страна е пример за положителна обратна връзка, тъй като води до допълнителен парников ефект и резултатно затопляне. Това затопляне от друга страна ще доведе до по-голямо изпарение на вода от океаните и докато H_2O е парников газ това може да увеличи затоплянето т.е. да се получи двоен ефект на затопляне.

Един от основните фактори за промяната на климата е парниковият ефект [22] показан на Фигура 13. Той представлява процес, при който парниковите газове (CO_2 , CH_4 , N_2O , CFCs, H_2O , O_3) ефективно абсорбират термална инфрачервена радиация, излъчвана от повърхността на Земята и от атмосферата сама по себе си, като по този начин се захваща топлината в системата повърхност-тропосфера. Термичната инфрачервена радиация в тропосферата е силно обвързана с температурата на атмосферата във височините, където се излъчва топлина. Ефективното инфрачервено излъчване към космоса произлиза от височина с температура около -19°C , в баланс с влизащата в атмосферата слънчева радиация, докато повърхността

на Земята се поддържа с далеч по-висока температура (средно +14°C). Увеличението на концентрацията на парниковите газове води до увеличение на инфрачервената прозрачност на атмосферата и тогава има неефективно излъчване към космоса от по-големите височини с по-ниски температури.

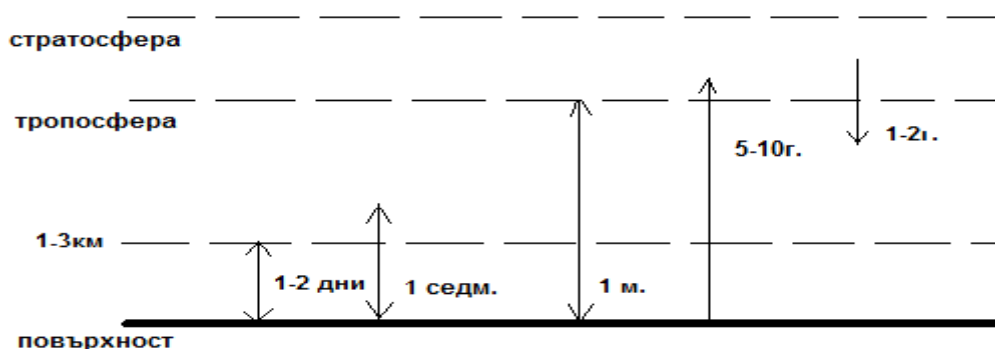
Друг основен фактор е транспортът между тропосферата и стратосферата. Обмяната на въздушната маса между двата атмосферни слоя (Фигура 12,14) значително влияе на разпределението и вариацията на компонентите на атмосферата в стратосферата [29]. Промяната на концентрацията на тези компоненти (озон, водна пара, облаци и някои видове аерозоли) може да предизвика негативен ефект върху глобалната промяна на климата (по-точно средната температура на въздуха в ниските слоеве), регулирайки балансните фотохимични и радиационни процеси [30]. Климатичните промени от своя страна пък могат да афектират върху намаляването на количеството на озон в стратосферата и да намалят оксидиращата способност в тропосферата [31]. От голямо значение е количеството на водна пара в стратосферата. Количеството ѝ в тази част от атмосферата е значително по-малко от това в по-ниските слоеве, но този факт в последните десетилетия се променя, тъй като се наблюдава увеличение. Една от причините за това е увеличената температура в тропосферата и затоплянето на повърхността, което води до по-висока влажност. Тази взаимосвързаност е доказана в [32], и тъй като водната пара сама по себе си е парников газ, това допълнително води до задържане на топлина, което е от основна роля за климатичната система на Земята. Задържането на топлина води до охлаждане на долните части на стратосферата и съответно дебаланс и нарушена стабилност.



Фигура 13 Дялове на парниковите газове, които причиняват парников ефект;
Източник: Courtesy Marian Koshland Science Museum of the National Academy of Sciences <http://www.koshland-science-museum.org>.

Намаляване на озон в стратосферата и увеличаване на концентрацията му в тропосферата, както беше споменато в по-горните редове, е другият основен фактор за настъпващите сериозни проблеми на климата. Слойът от озон в стратосферата се разполага на височина около 20км. Производството на озон се получава от фотолиза на атмосферния кислород (O_2) при енергия за свързване от UV фотони с определена дължина на вълната, които отговарят на определени вълни от слънчевия спектър в по-големите височини. Връзките в молекулата на озона (O_3) са по-слаби от тези на кислорода и затова той се разрушава лесно. Причинителите на това разрушаване са свободните

радикали ($\text{HO}_x, \text{NO}_x, \text{ClO}_x$ и др.), които се получават от оксидацията на молекулите на $\text{H}_2\text{O}, \text{CO}, \text{CO}_2, \text{NO}, \text{N}_2\text{O}, \text{CH}_4, \text{CFCs}$.



Фигура 14. Транспорт на вещества между отделните долните слоеве на атмосферата; източник [29]

Намаляването на концентрацията на озона в стратосферата и парниковият ефект са свързани по много начини. Атмосферният озон има два основни ефекта върху температурният баланс на Земята. Той абсорбира слънчевата UV светлина като затопля стратосферата. Също така абсорбира инфрачервена радиация, излъчена от земната повърхност, което ефективно задържа топлината в тропосферата. Затова влиянието на промените на концентрацията на озона, вариращи в определени височини, влияе на климата на Земята. Главната загуба на озон, изследвана в ниската част на стратосферата, в зависимост от отделените от човешката дейност вещества съдържащи предимно хлор (Cl) и бром (Br) имат охлаждащ ефект за повърхността на Земята [22]. От друга страна увеличението на озон в тропосферата, които са оценени да се появят в по-голяма степен, имат силно затоплящ ефект върху земната повърхност или това е част от парниковият ефект.

Възможни са намалявания на озона над точно определени области от земната повърхност не само при т.нар. озонови дупки, което е следствие от наличие на по-голямо количество концентрация на споменатите в горните редове газове, което е натрупвано с течение на определен период от време.

Според изследване на проф. Сара Канг [33], намаляването на озона над Южния полюс се свързва с продължителни екстремни валежи над Австралия, случили се през южното лято на (декември, януари, февруари).

Нелинейни климатични промени също са възможни според [27]. Това са събития, които могат да настъпят с много ниска вероятност, но с много големи последствия. По принцип такива събития се натрупват бавно, но въпреки това има „превратни точки“ след които огромни и бързи промени в поведението на природните системи могат да се появят. Това силно може да ускори климатичните промени на Земята или над определени зони над земната повърхност.

4.3.3. Разпределение и концентрации на компонентите в атмосферата

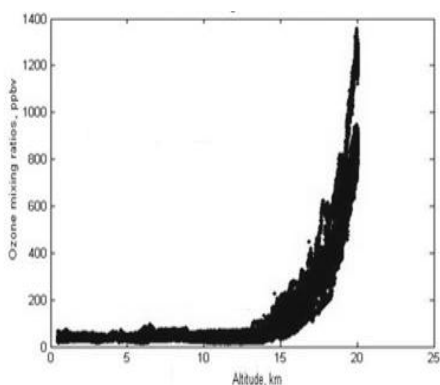
Посочените в горните редове компоненти имат различни концентрации и разпределение в различните височини на атмосферата. Това може да се види на Таблица 5, където 0 км е непосредствено до повърхността на Земята, а 25 км е в обсега на стратосферата. По-важни газове като $\text{O}_3, \text{CO}_2, \text{NO}_2, \text{HNO}_3$ се

увеличават, а такива като H₂O, CH₄, N₂O, CFCl₃, CF₂Cl₂, SO₂ намаляват съответно с увеличение на височината [34].

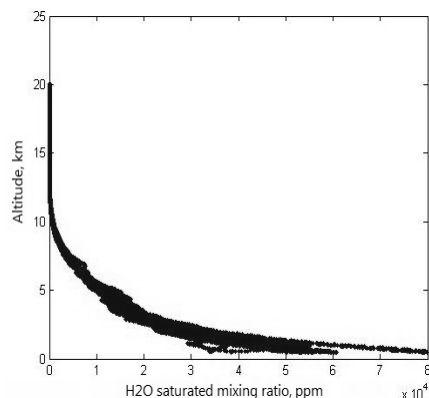
Концентрациите на атмосферните компоненти започва да се променя в глобален мащаб с въвеждането на индустриализацията, в резултат на използването на различни производствени процеси. На таблица е показана една оценка съгласно [35], според която ясно се вижда увеличението на газове, които в по-горните редове показahme като разрушители на озоновия слой в стратосферата и като парникови газове, предизвикващи затопляне в долните слоеве на атмосферата.

Gas	Volume mixing ratio (fraction)		Gas	Volume mixing ratio (fraction)	
	25 km	0 km		25 km	0 km
N ₂	0.7808	0.7808	CH ₃ COOH	—	3.0 (-9)
O ₂	0.2095	0.2095	CH ₃ COCH ₃	—	7.5 (-10)
O ₃	8.0 (-6)	4.0 (-8)	C ₅ H ₈ (ISOP)	—	2.0 (-10)
H ₂	6.0 (-7)	6.0 (-7)	CH ₃ Cl	3.6 (-10)	6.0 (-10)
H ₂ O	3.1 (-6)	0.01	CH ₃ CCl ₃	2.0 (-11)	1.4 (-10)
H ₂ O ₂	2.1 (-10)	3.0 (-9)	CCl ₄	1.3 (-11)	1.1 (-10)
NO	1.1 (-9)	5.0 (-12)	CFCl ₃	5.0 (-11)	2.7 (-10)
NO ₂	1.9 (-9)	4.0 (-11)	CF ₂ Cl ₂	2.2 (-10)	4.8 (-10)
N ₂ O	1.5 (-7)	3.0 (-7)	CF ₂ ClH	7.0 (-11)	1.2 (-10)
HNO ₃	6.0 (-9)	5.0 (-10)	CFCl ₂ CF ₂ Cl	3.0 (-11)	7.0 (-11)
HO ₂ NO ₂	3.4 (-10)	1.0 (-11)	HCl	1.3 (-9)	9.0 (-11)
CO	4.0 (-8)	1.1 (-7)	ClONO ₂	8.0 (-10)	—
CO ₂	3.75 (-4)	3.6 (-4)	HOCl	3.3 (-11)	—
CH ₄	1.0 (-6)	1.8 (-6)	CH ₃ Br	1.0 (-11)	1.2 (-11)
C ₂ H ₆	—	6.0 (-10)	BrONO ₂	2.0 (-12)	—
C ₃ H ₈	—	4.8 (-11)	HBr	3.0 (-12)	—
C ₂ H ₄	—	2.1 (-11)	SO ₂	1.0 (-11)	5.0 (-11)
C ₃ H ₆	—	6.0 (-12)	CH ₃ SCH ₃	—	1.0 (-10)
HCHO	—	2.0 (-10)	H ₂ S	—	5.0 (-11)
CH ₃ CHO	—	1.6 (-10)	OCS	1.0 (-10)	5.0 (-10)
HCOOH	—	1.8 (-9)	CS ₂	2.0 (-11)	1.0 (-10)
CH ₃ OOH	—	1.2 (-9)			

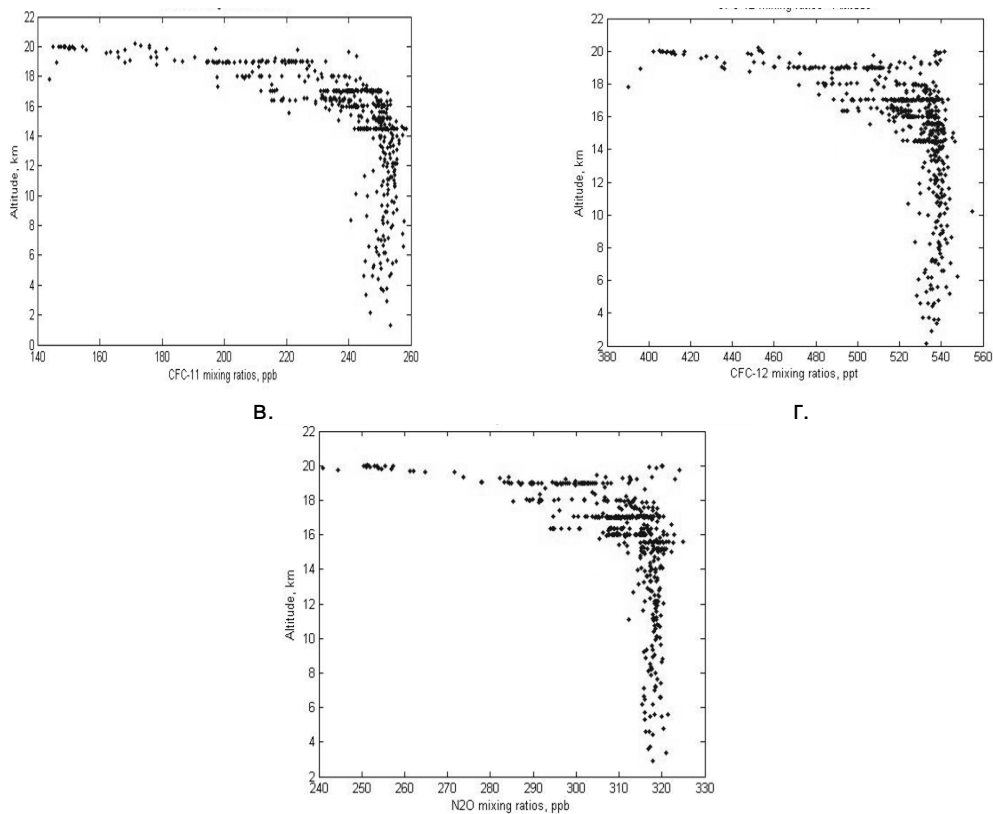
Таблица 5.. Типични концентрации (обемно съотношение на смесване) на няколко газа при две различни височини на атмосферата; 6.0 (-6) означава 6.0 × 10⁻⁶ ррv; Източник: [25]



а.



б.



Фигура 15. Примерно разпределение на концентрацията на а) озон, б) водна пара, в) CFC-11 г) CFC-12 спрямо и д) N_2O спрямо височината [1],

5. Метод за определяне на възможностите за поява на екстремни климатични условия на територията на ядрена централа

От показаните дотук тенденции за промяна на климата, вероятните причини за тях и резултатното увеличение на броя на екстремните климатични условия по света и над територията на България, съществува потенциална възможност за *нелинейни и/или локални климатични промени*, които са резултат от бавни промени на атмосферния състав. Такива събития са с много малки вероятности но с катастрофални последствия. При евентуалната им поява около площадката на АЕЦ „Козлодуй“ и близки до нея региони е възможно катастрофално влияние върху зоните с висок риск, които бяха определени в резултат на приложената методика на ПАО [8].

За по-доброто разбирането на екстремните климатични условия е необходим задълбочен анализ на атмосферната структура и процеси. Във връзка с това *вторият метод*, който се прилага за оценка на събития от този тип, е взаимстван от дипломния проект, който беше разработен в Lancaster University [1]. В него са използвани данни за атмосферата, които са част от изследванията по реален проект TROCCINOX (Tropical Convection, Cirrus and Nitrogen Oxides Experiment).

Подходите, които се използват за целите на дипломната работа в Технически Университет - София, са описани в следващите подраздели.

5.1. Предварителен подбор и вземане на данни за компонентите на атмосферата

Според [27] са необходими регионални оценки за по-доброто разбиране на анализа за климатичните промени и влиянието им в околната среда (по детайлно обследване), включително сезонните промени. За района на Европа все още няма достатъчно такива данни за регионални и местни оценки в подходящата резолюция и качество. На Таблица 6 са показани основните атмосферни и климатични променливи, които са изисквани от UNFCCC (United Nations Framework Conventions on Climate Change) за улавяне (откриване) и моделиране на промените.

Област	Основни променливи на климата
Атмосферни (над Земята, морета и ледове)	Повърхност: температура на въздуха, валежи, налягане на въздуха, радиационен бюджет, скорост на вятъра и посока, водна пара
	По-горен слой: радиационен бюджет на Земята, температура на въздуха, скорост на вятъра и посока, водна пара, свойства на облаците
	Състав: CO ₂ , CH ₄ , O ₃ и други дълго-живеещи парникови газове, аерозоли

Таблица 6. Климатични променливи за намиране и моделиране на климатични промени, Източник: The second report on the adequacy of global observing systems for climate in support of the UNFCCC report no. GCOS,2003

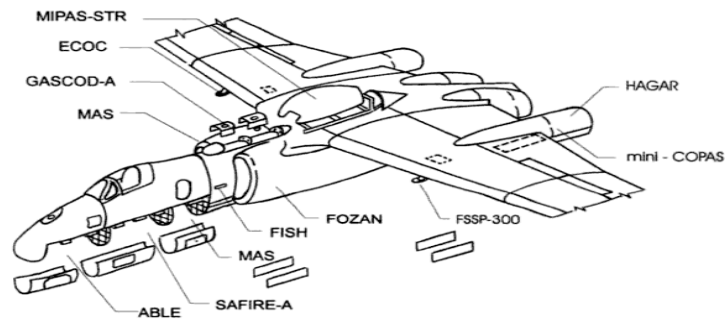
С развитието на технологиите се въвеждат няколко начина за вземане на данни от атмосферата:

- Станции за измерване на параметрите на времето, които се разполагат по всички по-големи градове;
- Радари – предоставят възможност за продължителен поглед и изследване;
- Балони – вземане на данни от по-големите височини на атмосферата;
- Сателити – предоставят данни за много големи части от атмосферата.

Съществува и друг начин, при който се използва самолети, предоставящи данни необходими за по-специални изследвания над определени площи и височини. Самолетите могат да бъдат управлявани от пилот или дистанционно (т.нар. дроне) като обхваща им е приблизително 300км от повърхността. Данните се отчитат от специално поставени за целта датчици (различни по начина си на работа за атмосферните компоненти и други термодинамични параметри) по периферията на самолета.

5.2. Обработка на данни за компонентите на атмосферата

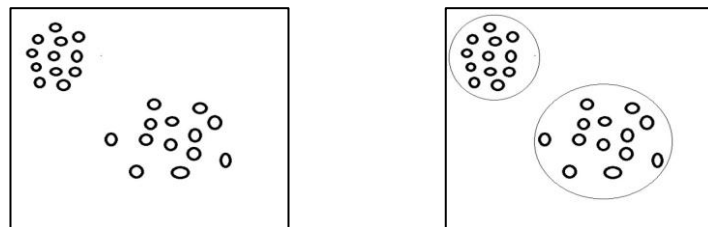
Както беше споменато вече, в основата на дипломният проект [8], защитен в Технически Университет-София през 2014г., беше заставен проекта [1] разработен при специализацията в Lancaster University (UK) през 2013г. съвместно с проф. д-р Пламен Ангелов. Темата на последния беше „Разработване на алгоритъм за независим анализ на данни за изследване на



Фигура 16. Модел M55- Geografica aircraft [1]
 Източник: Chemistry and Radiation Changes in the Ozone Layer,
 Christos S. Zerefos, Ivar S.A. Isaksen, Ioannis Ziomas

климата ” като основната цел беше чрез използване на данни като тези показани в Таблица 6, да се съставят и сравнят алгоритми за групиране на данни и да се анализират резултатите за по-добро разбиране на атмосферните и климатичните процеси в областта на слоя тропопауза над тропиците.

Алгоритмите се въвеждат в софтуерната среда за числов анализ и пресмятане Matlab и представляват различни модели за групиране или т.нар. clustering (cluster analysis). Моделите групират по такъв начин обектите (данните), че обекти от една група (cluster) са по-подобни помежду си (в един или друг смисъл) отколкото обекти от друга група (Фигура 17). Този подход е в основата на статистиката и по-специално процеса на извличане на данни (data mining). Използваните методи за клъстеризация са k-means, fuzzy c-means, subtractive и йерархичен.



Фигура 17. Пример за групиране на набор от данни в два клъстера [1]

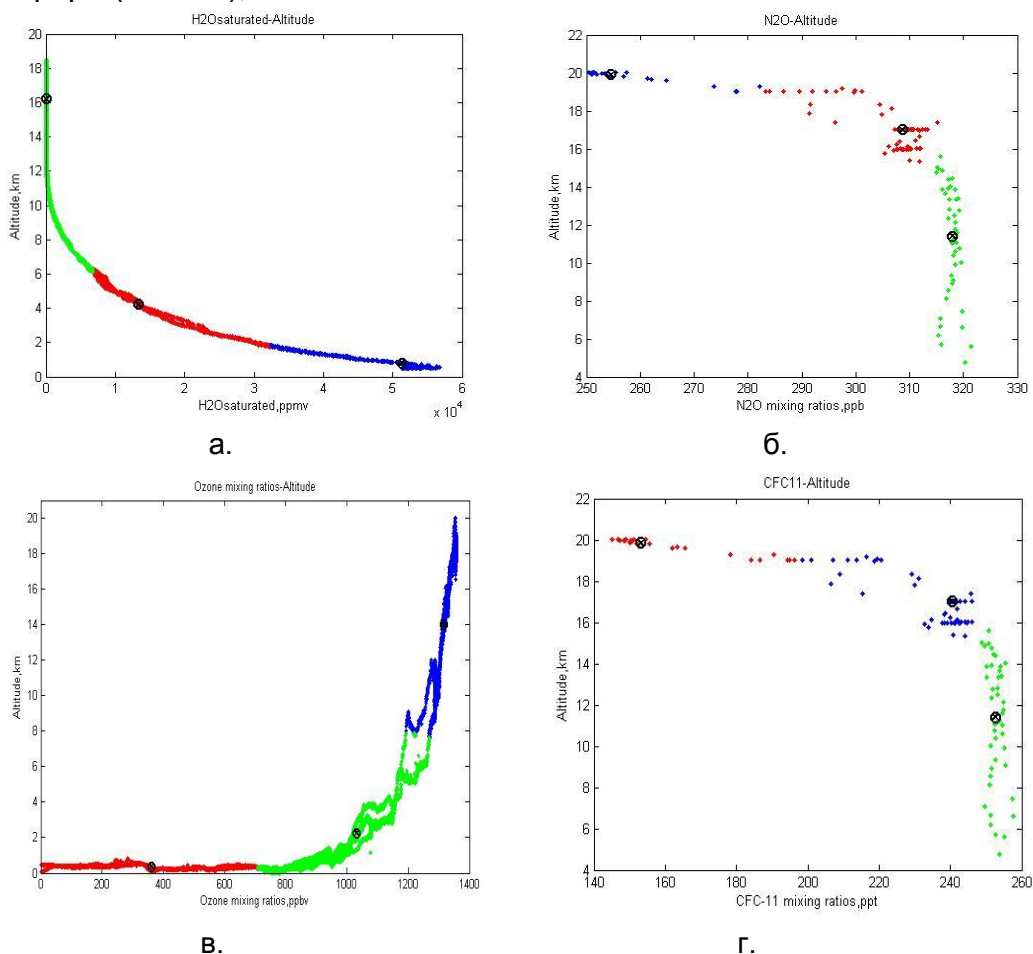
За целите на дипломният проект [1], беше разгледан проекта TROCCINOX (Tropical Convection, Cirrus and Nitrogen Oxides Experiment), който е част от Петата рамкова програма на Европейската общност за научни изследвания, технологично развитие и демонстрационни дейности (1998-2002г.). Той има за цел да изследва преходния слой между тропосферата и стратосферата наречен тропопауза и по-специално в тропическите части, тъй като процесите в тази област от атмосферата влияят силно на композицията на атмосферата като цяло, озоновият слой в стратосферата и състоянието на климата на Земята. Използвани са данни за конвективни процеси над тропиците, разпределението и източниците на следи от газове, облаци и аерозолни частици, като фокуса е поставен върху процесите във високите части на тропосферата и ниските на стратосферата. Местата от където са вземани данните са различни, но тук ще вземем предвид само тези взети от местността Арасатуба в Бразилия през 2005г., за чиято цел се използва модел самолет M55-Geografica aircraft (Фигура 4.9.). Като резултат от направения мониторинг

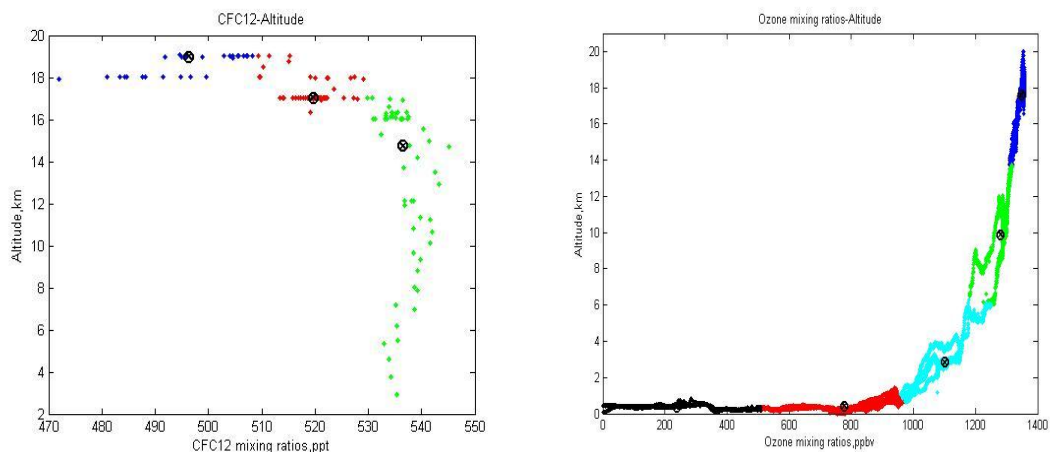
на различни географски дължини, ширини и височини (достигащи до 20км) са данните показани на Таблица 7.

Тип на данните	Измервания и физически параметри
COLD	CO
COPAS	Кондензационни ядра
HAGARGC	NO ₂ , CFC-11, CFC-12, Halon-1211, CO, CH ₄ , SF ₆
HAGARCO2	CO ₂
FISH	Водна пара и капки вода
FLASH	Водна пара
FOZAN	O ₃
MAS	Аерозоли
ACH	Точка на оросяване
TDC	Термодинамични процеси

Таблица 7. Тип на данните взети от M55- Geografica aircraft [1]

Приложението на процеса на клъстеризация е показано на Фигура 18, където на отделните под-фигури имаме концентрация на различен атмосферен газ спрямо височината, съответно на а) водна пара, б) N₂O, в) озон, г) CFC-11 и д) CFC-12. Отделните групи са оцветени в различни цветове. Те представляват различни модели на поведение на компонентите с промяната на височината (в конкретния случай). Например ако вземем предвид частта б) с концентрация на N₂O се очертават три групи, които могат да представляват грубо тропосфера (зелено),





Д.

Фигура 18. Примери за приложение на процеса на клъстеризация за данните от проекта TROCCINOX [1]

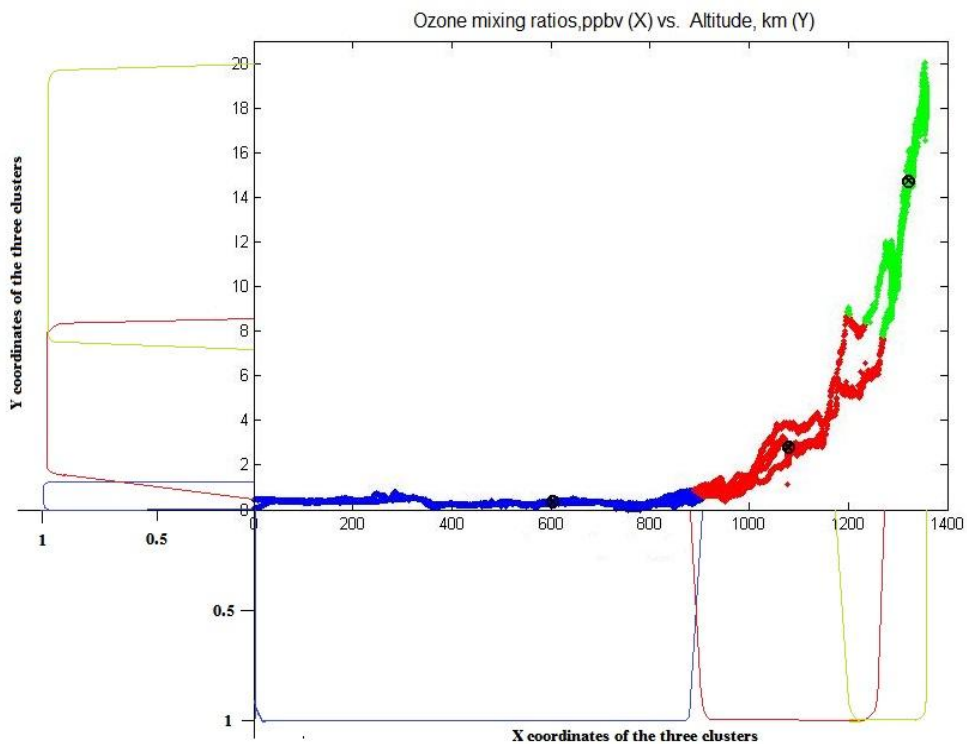
стратосфера (синьо) и един преходен слой между тях – тропопауза (червено). По този начин могат да се открият нормалните динамики на атмосферните компоненти, различни физични и термодинамични параметри, както и техните отклонения и тенденции за промяна.

С резултатите от групирането могат да се създадат математически модели за предсказване, построяването на които е базирано на определените клъстери показани на горната фигура и използването на размити правила (fuzzy rules). Размитите правила или т.нар. размита логика (fuzzy logic) е оценка за пресмятане, основаваща се на „степената на истина“. Тази логика се различава от булевата, от това че не използва абсолютни степени да достоверност (лъжа (0) или истина (1)), а при обработката на голям набор от данни поставя такива, които лежат между тези абсолютни степени (екстремуми). Система, при която се използва логиката на размитите правила се базира на следните правила:

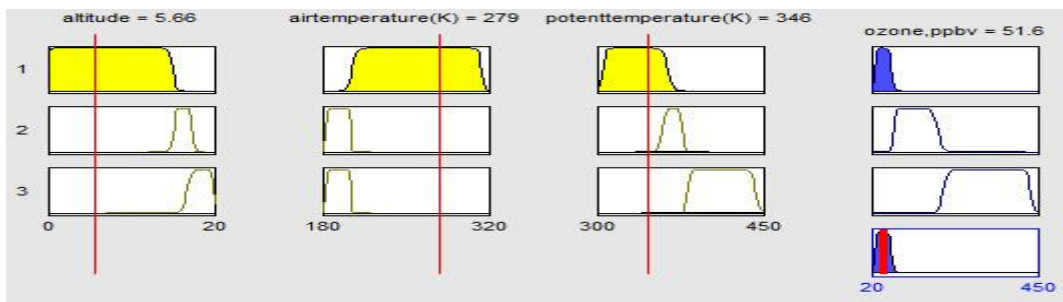
*Правило_i : АКО (предшественик) ТОГАВА (последствие),
където $i=[1, \text{Правила}]$*

За целта е направен модел в работната среда на Matlab, използвайки Fuzzy Interface System. Правилата са избрани на база на избраните центрове на отделните клъстери и областта, в която самите клъстери са разположени, така че пространството на входа и изхода представлява позицията (координатите x_i и y_i) на всеки клъстер (Фигура 19). Този метод на извличане на данни е показан на следващата фигура за случай, при който имаме концентрация на озон спрямо височината в атмосферата.

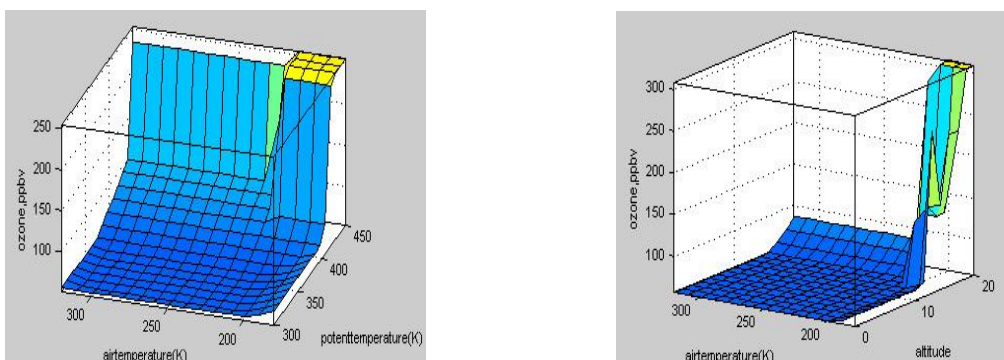
В случая са използвани други данни за атмосферата – температура на въздуха (K) и потенциална температура (K) като по същия начин, описан в горните редове се извлекат данни за координатите клъстерите. Крайният резултат е показан на Фигура 20, където се вижда приложението на правилата спрямо конкретните данни.



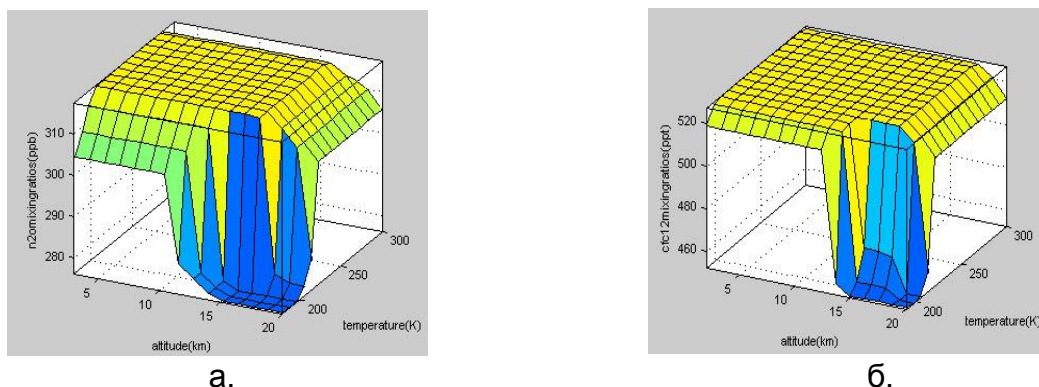
Фигура 19. Процес на идентифициране на координатите на три клъстера; източник []



Фигура 20. Приложение на размитите правила и как входящите параметри определят изходната променлива (концентрация на озон)



Фигура 21. Разпределение в 3D координатна система, което спомага за анализването на поведението на компонентите на атмосферата



Фигура 22. Приложение на размитите правила за концентрация на а) N₂O и б) CFC-12 спрямо входните параметри височина, температура на въздуха и потенциална температура

6. Смисъл и значение за безопасността на ядрена централа от получените резултати от приложените модели за обработка на атмосферни данни

Всяко едно ядрено съоръжение претърпява негативно въздействие по един или друг начин от околната среда, както беше споменато в началото на дипломната работа. Изложените доказателства и факти за промяната на атмосферните характеристики и промяната на климатичните условия на Земята са от съществено значение, тъй като могат да имат катастрофални последици върху ядрената енергетика като цяло. Вземането на данни в продължение на определен период от време, който покрива началните стадии от жизненият цикъл на ядрено съоръжение, а именно избор на площадка, проектиране, построяване и въвеждане в експлоатация, е необходимо за обследване на промените и за прилагане на симулационни инструменти. Последните представляват различни климатични или химични (за атмосферата) модели, които могат да предоставят възможност за консервативни сценарии за поява на много малко вероятни екстремни климатични явления за региона около площадката на централата или други близки региони, които могат да окажат влияние. Също така този подход може да се използва за подобряване на безопасността на ядрени съоръжения, които са вече в етап на експлоатация.

Рискът (R) представлява произведението на вероятността за поява на определено събитие и резултатът (последствията) от него (M):

$$R = P \cdot M$$

При разглеждане на екстремни външни събития, които влияят на безопасността на една ЯЦ, вероятността те да се случат може да бъде представена като сбор от независими събития :

$$P = P_A + P_B,$$

където P_A е досега оценената вероятност, която е оценена и описана в проекта на конкретното съоръжение, техническите обосновки на безопасността и направените вероятностни анализи на безопасността. От друга страна P_B представлява вероятността за поява на други нетипични и неочаквани екстремни събития, които са резултат от описаните в тази глава климатични и атмосферни промени. Такива събития все още не са изследвани, но за да бъде пълна оценката на безопасността на една ядрена централа, то такива събития трябва да се вземат предвид (дори и тяхната много малка вероятност за

поява), тъй като могат да предизвикат нови изходни събития и аварийни сценарии.

Предсказването на вероятността от поява на нетипични екстремни събития и влиянието им върху критични области от инфраструктурата, каквито са именно ЯЦ-и, ще даде възможност за вземане на по-добре информирани решения за в бъдеще. Процеса на определяне на тези вероятности би бил много по-пълен (точен) ако за тези събития се разгледат неопределеностите (uncertainties) съгласно теорията, свързана с множества тип не-статистически и размити набори от данни (fuzzy sets). Това ще бъде много полезно, от гледна точка на това, че традиционната теория на статистика не се занимава с тежестта от последствията при поява на събития и степента на тяхната (не)приемливост, а само с вероятността те да се случат.

Използвана литература :

1. Spaseva, P., Angelov, P., Algorithm Development for Autonomous Data Analysis for Climate Research, Lancaster University, School of computing and communications, 2013.
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Consideration of external events in the design of nuclear facilities other than nuclear power plants, with emphasis on earthquakes, IAEA-TECDOC-1347, IAEA, Vienna (2003).
3. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Extreme external events in the design and assessment on nuclear power plants, IAEA-TECDOC-1341, IAEA, Vienna (2003).
4. Закон за безопасно използване на ядрена енергия (Safe Use of Nuclear Energy Act), изм. ДВ. бр.68 от 2 Август 2013г.
5. Наредба за осигуряване безопасността на ядрените централи - ПМС № 172/19.07.2004 г., ДВ, бр. 66/2004;
6. Ст.н.с. Д-р инж. физ. Стоян Стоянов, Лекции по дисциплина „Ядрена безопасност”, Технически Университет - София
7. Marvin Rausand, October 7, 2005 System Reliability Theory (2nd ed), Wiley, 2004 – 2 / 36
8. Спасева, П., Ст.н.с. Д-р инж. физ. Стоянов. С., Екстремни външни условия, влияещи на безопасността на 5 и 6 блок на АЕЦ „Козлодуй”, Технически Университет-София, 2014г.
9. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IRS User's Manual, IAEA, Vienna (2000).
10. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INES User's Manual, IAEA, Vienna (2001).
11. PHB Hagler Bailly Inc., Nuclear Performance Experience Database, October 1999.
12. European Environment Agency, Climate change, impacts and vulnerability in Europe, No 12/2012, 2012.
13. European Environment Agency, Impacts of Europe's changing climate — 2008 indicator-based assessment, EEA Report No 4/2008, JRC Reference Report No JRC47756, ISSN 1725-9177
14. Третият Национален План за действие по изменение на климата за периода 2013-2020 година, Министерство на околната среда и водите на Република България, София, Май 2012г.
15. Seinfeld, John H., Pandis, Spyros N., ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS From air pollution to climate change, John Wiley and sons INC, Second edition, 1998
16. Richard P. Wayne (Richard Peer), Chemistry of atmosphere: an introduction to the chemistry of the atmospheres of earth, the planets, and their satellites, Oxford U.P., 2000, 3rd ed.
17. Peter. V. Hobbs, Introduction to atmospheric chemistry, , Cambridge U.P., 2000
18. Mark S. Jacobson, Fundamentals of atmospheric modeling, , Cambridge U.P., 2005
19. A. W. Brewer, Quart., J. Roy, Evidence for a world circulation provided by the measurements of helium and water vapour distribution in the stratosphere. Meteor. Soc. , 75, 351-363, 1949

20. European Environment Agency, Impacts of Europe's changing climate — 2008 indicator-based assessment, EEA Report No 4/2008, JRC Reference Report No JRC47756, ISSN 1725-9177
21. Третият Национален План за действие по изменение на климата за периода 2013-2020 година, Министерство на околната среда и водите на Република България, София, Май 2012г.
22. Seinfeld, John H., Pandis, Spyros N., ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS From air pollution to climate change, John Wiley and sons INC, Second edition, 1998
23. Richard P. Wayne (Richard Peer), Chemistry of atmosphere: an introduction to the chemistry of the atmospheres of earth, the planets, and their satellites, Oxford U.P., 2000, 3rd ed.
24. Peter. V. Hobbs, Introduction to atmospheric chemistry, , Cambridge U.P., 2000
25. Mark S. Jacobson, Fundamentals of atmospheric modeling, , Cambridge U.P., 2005
26. A. W. Brewer, Quart., J. Roy, Evidence for a world circulation provided by the measurements of helium and water vapour distribution in the stratosphere. Meteor. Soc. , 75, 351-363, 1949
27. European Environment Agency, Impacts of Europe's changing climate — 2008 indicator-based assessment, EEA Report No 4/2008, JRC Reference Report No JRC47756, ISSN 1725-9177
28. Третият Национален План за действие по изменение на климата за периода 2013-2020 година, Министерство на околната среда и водите на Република България, София, Май 2012г.
29. Daniel J. Jacob, INTRODUCTION TO ATMOSPHERIC CHEMISTRY, Princeton University Press Princeton, New Jersey, 1999
30. Sivasakthivel.T and K.K.Siva Kumar Reddy, Ozone Layer Depletion and Its Effects: A Review, International Journal of Environmental Science and Development, Vol.2, No.1, February 2011, ISSN: 2010-0264
31. Bob Guercio, Stratospheric Cooling and Tropospheric Warming, 1 December 2010
32. Charles Q. Choi, Effect of stratospheric water on climate, October 3, 2013
33. Sarah Kang, Relationship between the ozone depletion and the extreme precipitation in austral summer, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST), Geophysical Research Letter.
34. Jacobson, M., Fundamental of Atmospheric Modeling, Cambridge university press, second edition, 2005
35. Holt, T., Ozone depletion due to increasing anthropogenic trace gas emissions: role of stratospheric chemistry and implications for future climate, . CLIMATE RESEARCH, Published April 14, VOL.1: 85-95, 1991.
36. “АЕЦ Козлодуй” ЕАД, ОБОБЩЕН ДОКЛАД за проведените в АЕЦ „Козлодуй” стрес тестове, Октомври 2011