

# ОЦЕНКА НА ПОСЛЕДСТВИЯТА

Целта на този раздел е да се разгледат моделите, използвани за оценка на последствията, заедно с описание на съответните явления, условия и параметри, които им влияят. Няма да бъде направен опит за описание на самите модели, тъй като това може да се намери в съответните литературни източници.

В своята същност оценката на последствията е оценка на явленията, които протичат след загубата на съдържание или изобщо когато се създадат условия за образуване на неконтролиран поток от енергия (Uncontrolled Flow of Energy, UFOE). Това е свързано с изтичането на опасни вещества, начина, по който тези вещества се разпространяват в околната среда, възможните последствия (например, експлозии) и въздействието върху хората и околната среда (като токсичните ефекти). Въз основа на оценката на последствията е възможно приблизително да се определи:

- Обхватът или разстоянието, на което ще има жертви или разрушения, като последствие от дадено произшествие;
- Условната вероятност за загуба на живот или разрушение в резултат на произшествие;
- По-детайлни качествени параметри на риска, например, индивидуални контури на риска в потенциално опасното предприятие (Individual Risk Contours), потенциалната загуба на живот (Potential Loss of Life) и социалният риск (Societal Risk)

Известни са голям брой методи за извършване оценка на последствията от произшествия, представени в книги или като софтуер (*Lees, 1990; CCPS, 1989*). Голям брой модели на физични ефекти, характерни за произшествията, са систематизирани в т. нар. Жълтата книга "Yellow Book" (CPR, 1997).

## 1. Преглед на последствията от големи аварии

Последствията от произшествия с участието на опасни вещества зависят от:

- Свойствата на веществата и тяхното агрегатно състояние (газ, течност, твърдо физично състояние, температура, налягане и др.);
- Вида на оборудването, засегнато от аварията (резервоари, тръбопроводи, вентили и др.);
- Типа на технологичната операция, в която възниква произшествието (складово стопанство, транспортиране на флуиди, химична реакция и др.).

Последствията могат да бъдат класифицирани в съответствие с различни критерии, например, в съответствие с физичното състояние на веществата или в съответствие с вида на резервоара. При анализа на последствията трябва да се има предвид следната схема по отношение на физичното състояние:



Фиг. 1. Агрегатно състояние на веществата

Последствията от аварии рядко са изолирани събития, по-скоро се наблюдават поредица от събития, протичащи по един динамичен сценарий, в зависимост от началните условия, инициращите условия и т. н. Основните събития, обект на разглеждане при оценката на последствията, са:

- Изтичащ поток
- Дисперсия
- Пожар
- Експлозия

По-подробно описание на възможните физикохимични явления и физичното състояние на веществата са представени в Таблица 1.

Таблица 1. Възможни физични/химични явления (събития) и агрегатно състояние на веществото

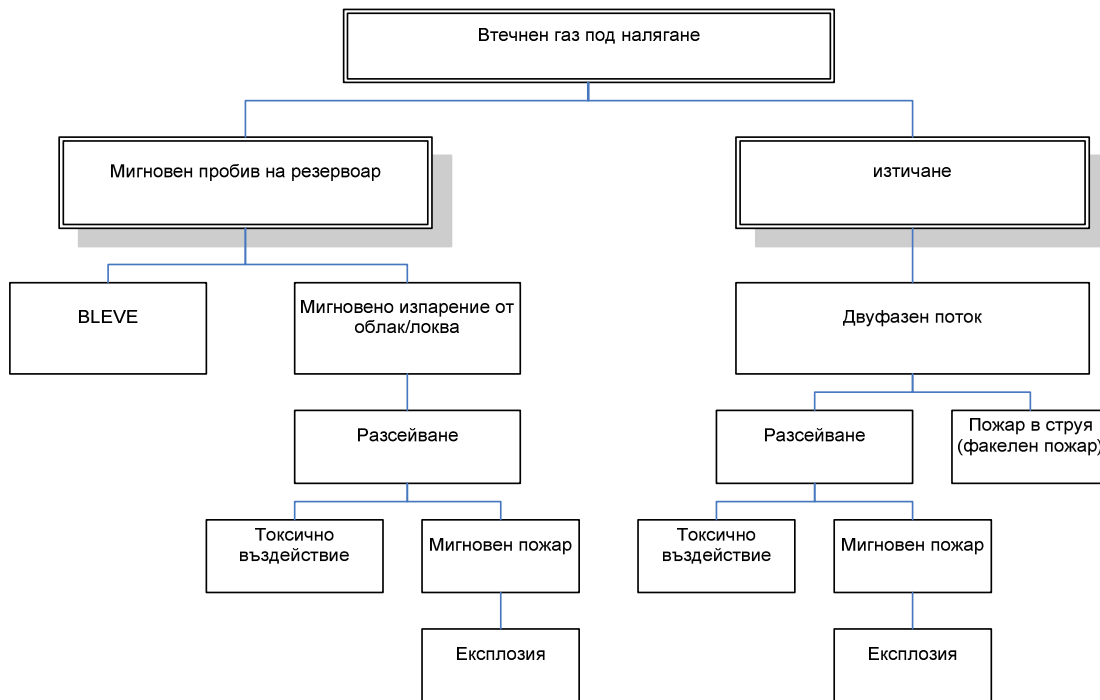
	Газ под налягане	Втечен газ под налягане	Охладена течност	Течност	Прах	Други твърди вещества
Изтичане	Еднофазна газова струя	Двуфазна струя, Внезапно двуфазно изтичане	Изтичане на течност, Изпаряване от локва при $t_{кип}$	Изтичане на течност, Изпаряване от локва при $t < t_{кип}$	Разрушаване на резервоар, Атмосферна ерозия	-
Дисперсия	Облак от газ	Облак от газ (Изпаряващи се аерозоли)	Облак от газ	Облак от пари <sup>1</sup>	Облак от прах	-
Пожар	Струен пожар(факелно горене), Мигновен пожар	Двуфазен струен пожар(факелно горене), Мигновен пожар	Пожар в локва, Мигновен пожар	Пожар в локва,	Пожар	Пожар
Експлозия	Физична експлозия (Резервоар <sup>2</sup> ), Експлозия на облак от газ	Физична експлозия (Резервоар <sup>2</sup> ), BLEVE <sup>3</sup> , Експлозия на облак от газ	Експлозия на облак от газ	Експлозия на облак от пари	Експлозия на прах	Детонация на твърди вещества

Окончателната оценка от анализа на последствията дефинира въздействието и разрушението, които физикохимичното явление може да причини. Степента на разрушението зависи от най-важното събитие или от значителното изтичане на “неограничено количество енергия” по време на аварията. В *Таблица 2* са представени евентуалните механизми на разрушенията (щетите) в зависимост от веществото и последователността от събития по време на аварията. Както се вижда, “дисперсията” е събитие преди главното събитие “експлозия на облак от пари”, както и събитието, свързващо пожара от локва с излагането на хората на опасността от токсичните продукти, формирани при горенето.

*Таблица 2. Възможни механизми на щетата в зависимост от вида на веществото и типа на събитието*

	Веществото е запалимо	Вещество или продуктите от горенето му са токсични
Изтичане	Нараняване/щета от силата на струята, Изгаряния (горещи или студени струи)	Токсично въздействие върху хората
Дисперсия	(Възможност за мигновен пожар или експлозия на облак от пари)	Отлагане на токсичното вещество върху зеленчуци, почва и повърхността на водата
Пожар	Термична радиация на хора и сгради	Образуване на токсични продукти при горенето (газове или аерозоли)
Експлозия	Свръхналягане (ударни вълни), летящи твърди тела, термична радиация на хора и сгради	Образуване на токсични продукти при горенето, изтичане на токсични вещества (газове или аерозоли)

По-долу са показани два примера на възможни събития, представени под формата на *дърво на събитията*. Първият пример, показан на *фиг. 1*, се отнася до изтичането на втечен газ под налягане, като например втечен пропан-бутан. Този пример демонстрира разликата между *незабавното възпламеняване*, т. е. запалването веднага след изтичането, водещо до “пожар в струя” (jet fire) при сценария на “изтичане”, и *забавеното възпламеняване*, когато изтеклият материал първо се разрежда с атмосферния въздух преди да се осъществи самото му запалване (т. е. преди облакът или струята да достигнат източника на възпламеняване. В последния случай количеството на запалимия материал в част от облака, където концентрацията му е по-висока от долната граница на възпламеняемост, се очаква да бъде включено в много бърз процес на горене (мигновен пожар), евентуално преминаващ в експлозия (със значително свръхналягане). Фронтьт на пламъка ще се разпространи от източника на запалване през целия огнеопасен облак, докато достигне източника на изтичане и причини струен пожар(факелно горене), ако изтичането е продължително.



Фиг. 2. Дърво на събитията при изтичане на втечен газ под налягане

Вторият пример, показан на *фиг. 2*, се отнася до изтичането на течност. Този пример показва отново разликата между незабавното и забавеното възпламеняване. В този случай обаче, остатъкът от течността, останал след мигновения пожар/експлозията ще бъде обхванат от пожар в локва. Забележете различната роля на *дисперсията* в дървото на събитията, представено на *фиг. 2*.



Фиг. 3. Дърво на събитията при изтичането на течност

## 2. Изтичане

В случай на загуба на съдържание опасното вещество ще изтече в околната среда. Скоростта на изтичане зависи от термодинамичното състояние на веществото и геометричната форма на отвора. Веществата могат да се класифицират като:

- сгъстени (компримирани) газове
- втечнени газове под налягане
- (некипящи) течности

Изтичанията могат да бъдат в обхвата от бавни, непрекъснати освобождавания от малки отвори до бързо, почти моментално изхвърляне на съдържимото при големи аварии. Примери за малки отвори са пукнатините или дупките в стените на апарат или тръбопровод, или пробиване на (къс) съединяващ тръбопровод с относително малък диаметър. В зависимост от съотношението между дебита на изходящия поток и общото количество на веществото в апарата или тръбопровода този поток трябва да се разглежда като квазистационарен или нестационарен.

По принцип изтичащият от малки отвори в апаратите или в тръбопроводите поток може да се разглежда като стационарен, което означава, че дебитът на потока се контролира от "постоянно" налягане по посока, противоположна на течението. Ако условията в тази посока се променят постепенно във времето, то потокът може да се разглежда като квазистационарен. В случай на пълно разрушаване на съда съдържанието му изтича за много кратко време. Подобни изтичания се разглеждат като внезапни. В случай на разкъсвания в дълги тръбопроводи дебитът на изтичащия поток ще се контролира от пада на налягането в него, а не толкова от условията в посока, противоположна на течението. При много от тези случаи изтичащият поток трябва да се разглежда като нестационарен.

В случаите с газове под налягане дебитът на изтичащия поток се ограничава от критична стойност, съответстваща на скоростта на звука за условията в апарата. При аварии в тръбопроводи променливият дебит на изтичащия поток зависи също така и от разширяването на сгъстения газ в тръбопровода, например, в газопроводите за транспортиране на природен газ при високо налягане. Термодинамичните последиствия могат да променят температурата и плътността на изтичащото вещество. В случаите с некипяща течност, дебитът на изтичащия поток обикновено зависи от нивото на течността в апарата над отвора (хидростатичното налягане). В зависимост от налягането и физикохимичните свойства на веществото изтичането може да бъде под формата на течна струя или аерозол (спрей). Най-сложни явления протичат при втечнените газове под налягане. Те могат да бъдат:

- Малък отвор в апарата достатъчно далеч от нивото на течността, води до изтичане на поток от пари (газ);
- Отвор в празното пространство на апарата близо до нивото на течността, води до изтичане на двуфазен поток, дължащо се на бързото изпаряване и на увеличаването на обема (образуване на мехури) на течността;
- Отвор в течната фаза води до изтичане на течен поток, който бързо се изпарява в самия отвор или в близост до него;
- Пълното разрушаване на апарата води до мигновено изпаряване на течността в него.

Термодинамичните ефекти, съпровождащи изтичането на двуфазен поток, са сложни. На първо място, течността ще се изпари, като по този начин ще отнеме топлина, необходима за изпаряването от самата течност, което от своя страна ще доведе до охлаждането на тази течност и достигане на температурата ѝ на кипене при атмосферно налягане. В условията на околната среда парите ще се смесят с въздуха (благодарение на разликата в наляганията смесването е много интензивно). Останалото количество течност в апарата ще се изпари, отнемайки топлина от въздуха (част от тази течност може да изтече на земната повърхност и да се изпари от локва). Това ще доведе до образуване на смес на парите с въздуха, която има температура, по-ниска от температурата на кипене веществото и затова, често, по-тежка от въздуха. Такава е картината, например, при втечените пропан и амоняк.

### 3. Изпаряване

Една течност, изтичаща от отвор, ще образува локва. Тази локва може да бъде ограничена от някакви прегради или да се разстеле върху земната повърхност. Ако течността е летлива, тя ще се изпари и образува *облак от пари*. В действителност, локвата ще се разстеле докато достигне някаква минимална дълбочина, която се определя от грапавостта на земната повърхност. За гладки повърхности (бетон, пясък, камъни) дълбочината може да бъде около 5 mm, за груби повърхности (селскостопански, тревни) от 20 до 25 mm (CPR, 1997). Най-разумния подход, основаващ се на избора на най-неблагоприятен сценарий, е да се предположи, че локвата мигновено ще се разстеле до минималната си дълбочина. За процеса на изпаряване на течността е необходима топлина. Тази топлина се набавя от самото вещество, но основното количество идва от земната повърхност и когато тази повърхност е студена, от атмосферата (включително слънчевата радиация). За течности с температура на кипене (ТК), по-ниска от температурата на околната среда, образуваната локва ще кипи дотогава, докато температурата на земната повърхност не стане по-ниска от ТК. За течности, които не кипят, вятърът ще отстрани парите от повърхността на локвата и това ще предизвика изпаряване с цел да се възстанови парциалното налягане на парите над повърхността. В този случай лимитиращият фактор е скоростта на вятъра.

### 4. Атмосферна дисперсия

Дисперсията в атмосферата често е определяща за изтичането (изходящ поток, изпаряване, продукти от горенето) и последващите въздействия (мигновени пожари, експлозии, токсични ефекти). Ако изтичането на изходящия поток е с голяма скорост, то първата фаза на дисперсията е струя. Съответните параметри са начален размер на отвора и количество на веществото (налягането в съда). Тези параметри определят размера на струята и смесването с въздуха. В случаите на по-малко интензивни изтичания, например, при изпаряване от повърхността на локви или облак от пожар, характерът на дисперсията се определя от плътността на изтичащото вещество. Ако плътността във вътрешността на концентрационния контур е по-малка от плътността на околната среда, то облакът ще се издига. Обратно, ако плътността във вътрешността на концентрационния контур е по-голяма от плътността на околната среда, то облакът ще се насочи към земната

повърхност и ще се разпростре над нея. На дисперсията на тежки газове се обръща голямо внимание, тъй като тя представлява по-голяма заплаха поради факта, че опасните вещества остават в близост до земната повърхност, където се намират хората и другите живи организми. За моделиране на дисперсията на тежки газове са предложени редица модели (*Duijm, et al., 1997*). Динамиката на разпространение на облаци от тежък газ, както и на облаци от леки газове зависи от началната маса, разликата в плътностите и скоростта на вятъра. Най-накрая, при всички облаци от токсични газове се наблюдава т. нар. пасивен режим на дисперсия, т. е. това е фазата, в която скоростта на вятъра и атмосферната турбулентност определят смесването на веществото с въздуха. Този режим не винаги е важен. Много от запалимите вещества достигат долното си ниво на запалимост при дисперсията на тежък газ. Много от токсичните вещества имат ниски концентрационни граници на опасност (напр., амоняк) и при тези случаи пасивната дисперсия е от практическо значение. Атмосферните условия са от важно значение при всички фази на дисперсия, но имат доминираща роля при пасивния режим на дисперсия. Тези условия са скоростта на вятъра и атмосферната стабилност. От най-важно значение е скоростта на вятъра. Концентрацията на токсичното вещество е обратно пропорционално на скоростта на вятъра. Турбулентността на въздуха е най-висока при нестабилни атмосферни условия. Последните се наблюдават тогава, когато слънцето нагрива почвата и порции от горещ въздух се издигат и се смесват с долния слой на атмосферата, наричан още граничен слой. За нестабилните условия е характерно бързо смесване на облаци от токсично вещество и по този начин се намалява приземната му концентрация. При тези условия е възможно да се пренесе вещество от по-голяма височина към земната повърхност (например, при облаци, образувани в резултат на пожар). Стабилните условия потискат атмосферната турбулентност. Стабилни условия се наблюдават когато температурата на земната повърхност е по-ниска от тази на въздуха. Това обикновено става при спокойни ясни нощи и ранни сутрини. Стабилните условия причиняват тесни и плиткы облаци с високи концентрации и малко смесване. Високите облаци могат бавно да се придвижват без да причиняват високи концентрации под себе си. Посоката, в която ще се придвижи облакът се определя от посоката на вятъра. Оценката на риска около опасната инсталация изисква да се вземат под внимание местните данни за скоростта на вятъра, посоката на вятъра и атмосферната стабилност.

## **5. Дисперсия в другите компоненти на околната среда**

Оценката на риска има за цел главно да определи въздействието върху човешкия живот, например, предсказване на жертвите сред хората, работещи или живеещи в близост до опасното място. Но законодателството изисква да се обърне необходимото внимание и на последствията от големи аварии върху околната среда.

Много от моделите за оценка на последствията от произшествия отчитат атмосферния фактор (атмосферната дисперсия, пожар, експлозия). По-малко усилия бяха насочени към предсказване на последствията от произшествия върху другите компоненти на околната среда (почва, подземни води, надземни водни басейни). Съществуват много малко на брой модели, описващи дълготрайното въздействие на химичните вещества върху тези компоненти на околната среда и някои от тях могат да бъдат използвани при случайните

изтичания (виж напр., *Trapp and Matthies, 1996*). Тези модели отчитат транспорта и дифузията както в отделните компоненти на околната среда, така и транспорта помежду им (напр., отлагането на химични вещества от въздуха върху почвата или миграцията им от почвата в подземните води).

## 6. Пожар

Пожарите могат да бъдат последствия от изтичане, но от своя страна те могат също така да се разглеждат като източник на опасни, токсични продукти от горенето. Пожарите по отношение на изтичащите потоци от газове и течности различаваме:

- Струен пожар (факелно горене);
- Мигновени пожари;
- Огнени кълба;
- Пожари в локва.

Опасните продукти от горенето възникват основно при пожари, в които участват сложни химични вещества, въпреки че сложни реакционни продукти могат да се образуват и при прости горива поради непълно горене. Образоването на опасни продукти от горене могат да се очаква при пожари в складове, съдържащи големи количества и/или много видове опасни вещества. В последния случай дисперсията на продуктите от горенето може да се изследва чрез моделите за издигането на облак, образуван в резултат на пожар (*Rasmussen, Duijm & Markert, 1998*).

*Струен пожар (факелно горене)* протича ако газ или двуфазен поток се запали внезапно. Съществуват модели, предсказващи големината на пламъка и топлинното облъчване върху околната среда. Особена опасност представлява случаят, при който струен пожар се насочи към уязвимо препятствие, напр., резервоар или тръбопровод. Топлинният поток от струен пожар може да бъде интензивен ( $350 \text{ kW/m}^2$ ), но в същото време с много локално въздействие (в сравнение с пожар от локва) и аварията, дължаща се на термични напрежения не може да бъде игнорирана (*Duijm, 1994*).

*Мигновени пожари* протичат ако запалим облак от пари се запали след известно време от началото на изтичане (забавено запалване). Пожарът бързо ще премине през целия облак. Дотолкова, доколкото няма прегради, причиняващи нарастване на скоростта на пламъка и облакът е малък, свръхналягането, дължащо се на разширяването на газа от мигновения пожар е ограничено и основната опасност е топлината. Ако скоростта на пламъка се увеличи, може да се стигне до експлозия на облак от пари (виж раздел *Експлозии*).

*Огнени кълба* се наблюдават при пълно разрушаване на съд под налягане, съдържащ запалими втечени газове под налягане се запали внезапно, напр., в случаите на авария в резервоар с втечен природен газ, обхванат от пламъци. Това явление е познато също така като BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion, Експлозия на разширяващи се пари от кипяща течност). Бурното смесване на разширяващата се течност и пари с въздуха причинява бързо горене, като огненото кълбо се издига нагоре във въздуха. Главната опасност от BLEVE е топлинната радиация (*CPR, 1997; CCPS, 1994*).

*Пожарите от локва* протичат когато пари от запалими, летливи течности се запалят. Скоростта на горене се определя от изпаряването на течността, при което се отнема топлина от радиацията на огъня над течността. Скоростта на

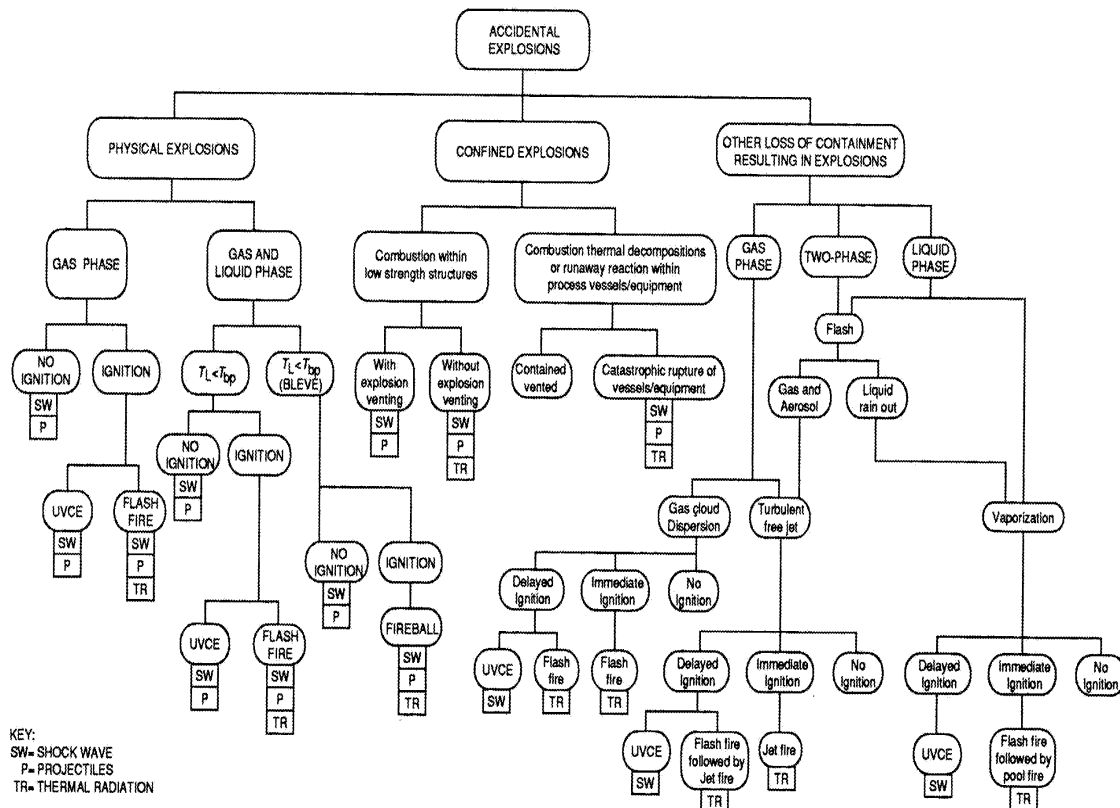


вятъра влияе върху височината и наклона на облака (Rew & Hulbert, 1996). В сравнение със струините пожари(факелно горене) размерът на пожара може да бъде много по-голям и освен термичната радиация токсичните продукти от горенето могат да окажат значително неблагоприятно въздействие. Пожарите в локва са изследвани многократно и е изчислено, че максимална стойност на топлинните потоци за керосин (авиационно гориво) е около  $100 \div 150 \text{ kW/m}^2$  (Moodie et al., 1988; Bainbridge & Keltner, 1988).

Причината за възникването на пожари с вещества в твърдо агрегатно състояние е или външното нагряване, или самонагряването на химичните запаси. Освен опасността от разпространение на пожара и топлинната радиация основната опасност при пожари с тези химични вещества са токсичните продукти от горенето.

## 7.Експлозии

Могат да бъдат разграничени експлозии вътре в апаратите, включващи физична експлозия на самия апарат, и експлозии извън апарата. Причините за експлозиите в оборудването и физичните експлозии са най-често външно нагряване, прекомерно повишаване на налягането, неконтролируеми химични реакции и експлозии на прахове. Експлозиите извън оборудването (които много често са в ограничени пространства) главно се дължат на възпламеняването на запалими пари поради по-ранното изтичане на съдържание.



Фиг. 4 Дърво на събитията

На фиг. 4 (от *CCPS, 1988*) са показани последователностите от събития, водещи до експлозия. На същата фигура са показани основните опасности: летящи тела (главно при физична експлозия), ударни вълни или свръхналягане от експлозия и термична радиация. При експлозията на облак от пари от важно значение са масата на облака и количеството на преградите в района, които пречат на движението на газовете, причинявайки по-високо свръхналягане, а също така и увеличаване на скоростта на пламъка чрез допълнителна турбулентност (*CCPS, 1994; CCPS, 1996; CPR, 1997; Bjerketvedt, Bakke & Wingerden, 1997*).

Известни са различни модели за определяне мощта на дадена експлозия, зависеща от размера и свойствата на запалимия облак и обкръжаващите препятствия, вариращи от прости модели, отчитащи единствено експлозивния потенциал на облака (еквивалентен модел на TNT) и числени триизмерни модели на базата на метода на крайните разлики (*CPR, 1997; Bjerketvedt, Bakke & Wingerden, 1997*). Експлозивната мощ и разрушителният потенциал се определят от два параметъра – максималното (пиково) свръхналягане  $P_s$  и т. нар. положителен “импулс”, който се дефинира като интеграл във времето на свръхналягането през време на разпространение на ударната вълна. Ако ударната вълна се апроксимира чрез триъгълно разпределение, тогава  $i_s = \frac{1}{2}P_s t_p$ , където  $t_p$  е времетраенето на ударната вълна.

## 8. Въздействия

### 8.1. Токсично въздействие

Различават се токсични въздействия, въздействия от топлинна радиация, въздействия от свръхналягане и въздействия от летящи обекти. Токсичното въздействие на веществата обикновено се оценява чрез поетата доза. За веществата, които имат системно въздействие, е съществено общото количество на вдишаното вещество, като дозата е произведение на концентрацията и времето на въздействие. За отчитане на локалните ефекти, свързани с възстановяването и изхвърлянето, изчисляването на дозата следва от:

$$D = \int_{t-\text{пристигане}}^{t-\text{заминаване}} [C(t)]^n dt$$

Тук, стойността на степения показател  $n$  зависи от вида на веществото и е в границите от 0.6 до 3 (*Lees, 1980*). В Таблица 4 са представени различни типове интензивни въздействия с примери за най-често срещаните вещества. В таблицата не са представени данни за канцерогенни ефекти.

Таблица 3. Вид на въздействието на някои вещества върху човешкия организъм

Клас	Някои примери
Локално действащи вещества (главно на горните дихателни пътища)	Амоняк; Алдехиди (Акролеин; Формалдеhid, др.)
Локално действащи вещества (на долните дихателни пътища)	Халогени (Cl <sub>2</sub> , Br <sub>2</sub> , F <sub>2</sub> , I <sub>2</sub> ); H <sub>2</sub> S; COCl <sub>2</sub> ; Азотни окиси
Локално действащи вещества с допълнителни въздействия, засягащи целия организъм	Дихлорпропен; CS <sub>2</sub>
Вещества, действащи на централната нервна система	Дихлорметан; Хлороформ; CCl <sub>4</sub> ; Винилхлорид
Вещества, действащи на единичен орган (напр., изключват се дихателните пътища и централната нервна система)	Винилхлорид
Вещества с по-общо въздействие върху целия човешки организъм	Динитротолуен; Цианиди (Акрилонитрил, HCN); Ароматни разтворители (Бензен, Толуен, др.)

Токсичните въздействия могат да се оценят чрез сравняване на нивата на експозиция с някое от съществуващите нива на безопасност (CCPS, 1989). Вероятността за жертви може да се оцени чрез използване на зависимостта между доза-отклик под формата на т. нар. Probit функции чрез използване на дефинираната по-горе величина токсична доза (Lees, 1980; CCPS, 1989; CPR, 1992; CPR, 1999). Тези източници включват също така добре изучените съотношения доза-отклик за топлинна радиация (виж по-надолу) и свръхналягане.

Предполага се, че хората, намиращи се в затворени помещения, са защитени до някаква степен от токсичното въздействие. В холандското ръководство за количествена оценка на риска (CPR, 1999) е показано, че броят на жертвите в затворени помещения е само 10% от тези, които биха загинали, ако се намират на открито, но това е само едно грубо приближение, зависещо от времето, за което облакът ще се придвижи и скоростта на вентилация на сградата по време и след преминаване на облака.

## 8.2 Въздействия от летящи отломки

Въздействието от летящи отломки зависи от кинетичната енергия. Летящите отломки с кинетична енергия, по-голяма от 100 J (Джаула) могат да причинят жертви (CCPS, 1989; CPR, 1992).

## 8.3 Въздействия от топлинна радиация

Топлинната радиация може да причини вреди на хора и на имущество. Rew и Hulbert (Rew & Hulbert, 1996) се позовават на изследването на Lawson & Simms от 1952 г. за запалването на бяла дървесина. Тези данни показват, че спонтанното и "направлявано" (т.е. в присъствието на източник на запалване) възпламеняване в рамките на 30 min няма да протече при инцидентни топлинни потоци, съответно от 26 до 15.5 kW/m<sup>2</sup>. От работата на Carlos Fernandez-Pello (Carlos Fernandez-Pello, 1995) може да се определи времето за пиролиза. Като се приеме температура на пиролиза 623 K, се вижда, че пиролиза в рамките на 30 min няма да протече, ако инцидентният топлинен поток е по-малко от 11kW/m<sup>2</sup>. В съответствие с данните от DanGas (DanGas, 1990), електрически кабел с изолация от PVC може да се повреди след въздействие на 2 kW/m<sup>2</sup>.

Таблица 4. съдържа данни за наранявания от изгаряне (DanGas, 1990). Смъртността вследствие на топлинна радиация може да бъде оценена с помощта на подхода Probit подобно на смъртността, дължаща се на токсично въздействие. Когато се отчитат последиците от мигновен пожар, обикновено се допуска, че хората (и животните), попаднали в обхвата на огъня (в рамките на нивото на запалимост на облака, който предстои да се запали) ще умрат, докато всички други ще оцелеят.

Табл. 4 Наранявания от изгаряне

Аварийен огнен поток (kW/m <sup>2</sup> )	Последици
9.4	Прагът на болката ще бъде достигнат след 6 сек. излагане на въздействие. Безопасна зона, от която хората могат безпрепятствено да се спасят
6.4	Прагът на болката ще бъде достигнат след 8 сек. излагане на въздействие. Втора степен изгаряне след 20 сек. излагане на въздействие
5.0	Прагът на болката ще бъде достигнат след 20 сек. излагане на въздействие.
3.5	Прагът на болката ще бъде достигнат след 30 сек. излагане на въздействие
1.6	Прагът на болката ще бъде достигнат след 60 сек. излагане на въздействие. Извън този обсег не са необходими ограничения
0.7	Изложената кожа се оцветява в червено и ще изгори след продължително излагане

## 8.4. Въздействия от експлозии

Експлозиите могат да причинят наранявания на човешките същества по различен начин:

- Ударната вълна може да повреди белите дробове (гръдният кош може да бъде смазан);
- Може да бъдат засегнати ушите, като основното поражение е на ушните тъпанчета;
- От ударната вълна тялото може да бъде изместено и хвърлено върху земната повърхност или други препятствия;
- Човешкото тяло може да бъде ударено от летящи отломки;
- Хората, намиращи се вътре в сградите, могат да пострадат при разрушаването на сградата от експлозията.

За първите три типа наранявания съществуват функции от типа Probit, даващи възможност за определяне на боя на жертвите в зависимост от пиковото свръхналягане  $P$  и импулса  $i_s$  (CPR, 1992). В същия източник е представен много прост метод за определяне на жертвите при експлозия на облак от пари, базиран единствено на пиковото свръхналягане.

Въздействието на експлозиите върху строежите, особено върху сградите, е добре изучена, но сложна инженерна област, фокусирана върху необходимостта от създаването на взривоустойчиви конструкции (командни зали, морски платформи). Емпиричните наблюдения, отчитащи единствено пиковото свръхналягане, водят до следната класификация на зоните на разрушение:

Таблица 5. Зони на разрушение в зависимост от пиковото свръхналягане

Зона	Разрушение	Пиково свръхналягане, kPa
A	Тотално разрушаване	> 83
B	Тежки щети	> 35
C	Умерени щети	> 17
D	Незначителни щети	> 3.5

## 8.5 Въздействия върху околната среда

Освен атмосферната дисперсия, дисперсията във водните басейни (морета, пристанища, реки, канали) е най-често срещаното директно въздействие върху околната среда на аварията в индустрията. Въздействието се заключава в щети на флората и фауната във водните басейни и заплахата за източниците на питейна вода. Въздействието върху водния живот може да се оцени чрез използване на информацията за леталната концентрация ( $LC_{50}$ ) за различните вещества. Такива данни са известни за много от веществата ("DOSE", 1992).

## 9. Ограничаване на въздействията

Мерките за ограничаване на въздействието от протичането на нежеланото събитие, свързано с изтичане на съдържание, имат за цел:

- Да ограничат изтичането на количеството на опасното вещество към околната среда.
- Да предотвратят по-нататъшното неблагоприятно въздействие на събитието.
- Да осигурят защита на хората.

Методите за ограничаване на изтичането на веществата зависят от вида на материала и типа на изтичането. Вътре в апарата може да се използва устройство за изключване при възникване на аварийна ситуация, което да ограничи количеството на материала, който може да изтече. В случай на водоразтворими вещества може да се използва с известен успех водна завеса (напр., за амоняк, флуороводород). Изпаряването от локви може да се ограничи чрез намаляване размера на локвата (шахта под резервоара) и покриване със специални покрития или пяна. Ескалацията при произшествия с изпускане на съдържание е от особено значение по отношение на опасностите от запалване и експлозия. Оборудването може да се защити от пожар чрез пръскане с вода (с или без специални добавки) или чрез изолационен материал. И двата вида изолационни материали, т. нар. циментови и епокси-интумесценти, се оказват ефективни против струйни пожари (факелно горене), при които пръскането с вода е неефективно (*Roberts & Beckett, 1996*). Въздействието от експлозии може да се редуцира чрез проектиране на взривоустойчиви обекти (*CCPS, 1996*). Защитата на хората се основава върху два принципа: убежище и бягство/евакуация. Това зависи от наличното време и вида на въздействието кое действие е най-ефективно да се предприеме. Преглед на изгодите от различните начини за евакуация е представен в *CCPS (1989)*.

## 10. Оценка на последствията и количествена оценка на риска (QRA)

Редица от съществуващите модели за количествена оценка на последствията от аварии, които бяха отбелязани в предишните раздели, дават количествена информация за мащабите на последствието и неговото въздействие. Пренасянето на тази информация в определен метод за количествена оценка на риска е повече въпрос на съхраняване на информацията. Често (но не непременно) методите за количествена оценка на риска са ограничени до извършването на оценка на индивидуалния риск (IR) и обществения риск (SR). И двата критерия са базирани единствено на неблагоприятните въздействия върху хората. В "Purple Book" (*CPR, 1999*) е представено кратко описание за това как може да се извърши изчисляването на IR и SR. Едно нещо, на което трябва да се обърне внимание, е избора на метеорологичните условия в сценариите, при които атмосферната дисперсия играе важна роля. Експлозиите в производственото предприятие, BLEVE и др. подобни се очаква да имат въздействие върху целия район, независимо от посоката и скоростта на вятъра. В този случай вероятността за смърт в някоя точка е произведение от вероятността за този сценарий на произшествието и условната вероятност за смърт в разглежданата точка когато сценарият се осъществи и често това е функция единствено на разстоянието. Например, за BLEVE:

$P_{\text{смърт, BLEVE}}(x,y) = P(\text{BLEVE})$  (вероятността за смъртен случай на човек  $(x,y)$  при възникването на BLEVE)

Ако атмосферната дисперсия има значение, то всяко възможно метеорологично състояние (напр., комбинацията от посока на вятъра, скорост на вятъра и атмосферната стабилност) следва да се разглежда като нов сценарий. За всяко метеорологично състояние трябва да се определи вероятността за смърт в точка с координати  $(x,y)$  и резултатите трябва да се добавят към сценария на изтичане.

$$P_{\text{смърт сценарий}X(x,y)} = \sum_{\substack{\text{всички} \\ \text{посоки} \\ \text{на} \\ \text{вятъра}}} \sum_{\substack{\text{всички} \\ \text{скорости} \\ \text{на} \\ \text{вятъра}U}} P(\text{смърт}(x,y) \uparrow \text{сценарий}X \wedge \varphi \wedge U \wedge N)$$

За мигновен пожар това означава да се определи за кои метеорологични условия точката с координати  $(x,y)$  е в запалимата част на облака (обикновено при консервативна оценка се взема под внимание възпламеняването на облака извън територията на производственото предприятие при максимална дължина на облака, т. е. най-широкият покрит от облака участък, виж *CPR, 1999*).

За изтичане на токсични вещества, в т. нар. "purple book" (*CPR, 1999*) се предлага опростяване на облака чрез дефиниране на ефективна ширина на облака (ECW) с една и съща степен на пострадали, равна на степента на пострадали в центъра на облака, докато общият брой на жертвите в ECW е равна на броя жертвите на това разстояние за реалния облак.

Разбира се, за да могат да бъдат извършени подобни изчисления, трябва да се има достъп до статистическа информация (напр., за предпочитане осреднена за период от 10 до 20 години, или поне за 5 години), отнасяща се за комбинациите от посока на вятъра, скорост на вятъра и атмосферна стабилност, приложими за даденото място. Моля, да се обърне внимание на следното:

- В местната метеорологична статистика може да има значителни флуктуации, особено около планини и големи морета или езера.
- Докато комбинациите от данни за посоката на вятъра и скоростта на вятъра обикновено могат да бъдат взети от близки летища, то информацията за атмосферната стабилност често липсва. Ако има записи за облачната покривка в зависимост от времето през деня, то класът на атмосферна стабилност може да се определи, отчитайки посоката и скоростта на вятъра.
- При някои приложения може да има необходимост от отделни метеорологични данни за различни периоди. За оценка на обществения риск често са необходими метеорологични данни през нощта и през деня, докато различен брой хора са подложени на риск (напр., в къщи или на работа, навън или вътре в затворени помещения). Особено атмосферната стабилност е различна през нощта и през деня. Сезонните данни могат да бъдат приложими за туристически места или производства със сезонна активност. Сезонните разлики са по-ясно изразени при континентален климат в сравнение с крайбрежните региони.

Статистическите данни за посоката на вятъра са представени като вероятност вятърът да задуха от определен сектор за посоката на вятъра. Нормално, ширините на сектора са между  $15^\circ$  и  $45^\circ$ . За да се изчисли вероятността за среща със запалим или токсичен облак, трябва да се раздели (ефективната) ширина на облака на ширината на сектора и да се умножи на вероятността, че

вятърът ще духа от този сектор, при предположение за равномерно разпределение на вероятността вятърът да духа от този сектор, виж фиг. 5.

Обикновено, при изчисляването на индивидуалния риск не се включват съображенията за защита от сгради. Индивидуалният риск изразява “заплахата”, наложена от околната площ върху лицето да бъде там, независимо от ситуацията, в която се намира той (дрехи, дейност, защита).

Противоположно на това, при изчисляването на обществения риск се отчита защитата на (групи от) населението, напр., броят на хората в помещения, а също така внимателно трябва да се преценят разликите в броя на хората, присъстващи през деня, нощта, почивните дни, по време на специални събития (спортни стадиони) и/или в зависимост от сезона. Общият период от време, което се разглежда (резултатите главно се представят като очаквана вероятност за година) се разделя на адекватни времеви отрязъци (ако “време през деня” се отнася за периода от 8:00 до 18:30, тогава времевият отрязък е  $10.5/24$ . Ако целият уикенд се разглежда като “време през нощта”, то отрязъкът за “време през деня” се редуцира до  $5/7 \cdot 10.5/24$ ). Тези данни следва да се свържат с информацията за опасни дейности в производствения участък за дадения период, например работи ли предприятието през нощта? Дали някои технологични операции се извършват в определено време, когато повече хора са наоколо, и да се включат при определянето на риска за всяко разпределение на населението. Всяко разпределение на населението изразява един нов сценарий при изчисляване на обществения риск, напр., то изразява нова точка на кумулативната F-N крива.

Оценката на риска от увреждане и/или замърсяване на компонентите на околната среда чрез големи аварии все още не е толкова напреднала, колкото стандартните мерки, отнасящи се за индивидуалния риск или социалния риск. Може да си представим мярка за такъв риск чрез заместване на броя на жертвите в F-N кривата с цената на щетите върху околната среда. Наложително е да се наложи мнението, че важноста на методите за количествена оценка на риска не трябва да се подценява при оценката на риска за околната среда. Затова Директивата Seveso-II е последователна в отбелязването, че “човешкото здраве” и “околната среда” вървят ръка за ръка.



## 1. Литература

- Bainbridge, B.L., Keltner, N.R., *Heat transfer to large objects in large pool fires*, J. Hazardous Materials 20, pp 21-40, 1988.
- Bjerketvedt, D., Bakke, J.R., Wingerden, K. van, *Gas Explosion Handbook*, Special Issue J. Hazardous Materials, 52, pp 1-150, 1997.
- Carlos Fernando-Pello, A. The solid phase, chapter 3 from G. Cox (ed), *Combustion Fundamentals of Fire*, Academic Press, London, U.K.. 1995.
- CCPS (Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers), *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.
- CCPS (Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers), *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires and BLEVEs*, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1994.
- CCPS (Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers), *Evaluating Process Plant Buildings for External Explosions and Fires*, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1996.
- CPR (Netherlands Committee for the Prevention of Disasters), *Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials*, 1<sup>st</sup> edition, Labour Inspectorate Information Sheet CPR 16E, Voorburg, Netherlands, 1992.
- CPR (Netherlands Committee for the Prevention of Disasters), *Methods for the calculation of physical effects – due to releases of hazardous materials (liquids and gases) -‘Yellow Book’ Part 1 & 2*, CPR 14E, 3<sup>rd</sup> ed., Sdu Uitgevers, The Hague, 1997.
- CPR (Netherlands Committee for the Prevention of Disasters), *Guidelines for quantitative risk assessment -‘Purple Book’*, CPR 18E, 1st ed., Sdu Uitgevers, The Hague, 1999
- DanGas, Stenlille Gaslager Sikkerhedsanalyse, 1990, Denmark.
- DOSE, *The Dictionary of Substances and their Effects*, M.L.Richardson, S. Gangoli, eds., Royal Soc. of Chemistry, Clays Ltd, England, 1992. ISBN 0-85186-331-0
- Duijm, N.J. *Jet Flame Attack on Vessels*, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 7, No 2, pp 160-166, 1994.
- Duijm, N.J., Carissimo, B., Mercer, A., Bartholome, C., Giesbrecht, H., *Development and test of an evaluation protocol for heavy gas dispersion models*, J. Hazardous Materials 56, pp 273-285, 1997.
- Lees, F.P., *Loss Prevention in the Process Industries, Hazard Identification, Assessment and Control*, Vol.1 & Vol. 2, Butterworth & Co, Ltd, London, 1980 (revised edition published 1996)
- Moodie, K., Cowley, L.T., Denny, R.B., Small, L.M., Williams, I., *Fire engulfment tests on a 5 tonne LPG tank*, J. Hazardous Materials 20, pp 55-71, 1988.
- Rasmussen, B, N.J. Duijm, F. Markert, *Airborne releases from fires involving chemical waste - a multidisciplinary case study*, J. Hazard. Mat., Vol. 57/1-3, pp. 259-275, 1998
- Rew, P.J., Hulbert, W.G., *Development of pool fire thermal radiation model*. HSE CRR No. 96, HSE Books, Sudbury, Suffolk, UK, 1996.

- Roberts, T., Beckett, H., *Hazard consequences of jet-fire interactions with vessels containing pressurised liquids: final report*. HSL/HSE Process Safety Section Project Report R04.029 PS/96/03, Buxton, Derbyshire, UK, 1996
- Trapp, S., Matthies, M., *Dynamik von Schadstoffen – Umweltmodellierung mit CemoS*, Springer-Verlag, Berlin, 1996