

JRC TECHNICAL REPORT

Управление на риска от Natech

*Ръководство за
операторите на опасни
промишлени обекти и за
националните органи*

Necci A., Krausmann E.

2022 г.



Настоящата публикация е технически доклад на Съвместния изследователски център (СИЦ), научноизследователската служба на Европейската комисия. Тя има за цел да предостави основана на доказателства научна подкрепа за процеса на изработване на европейски политики. Изразените научни резултати не представляват политическа позиция на Европейската комисия. Нито Европейската комисия, нито лице, действащо от името на Комисията, не носи отговорност за евентуалното използване на настоящата публикация. За информация относно методологията и качеството на данните, използвани в тази публикация, източникът на които не е нито Евростат, нито друга служба на Комисията, потребителите следва да се свържат с посочения източник. Използваните наименования и представянето на материала на картите не предполагат изразяване на каквото и да било становище от страна на Европейския съюз, засягащо правния статут на дадена държава, територия, град или област, или на нейните власти, или относно определянето на нейните граници или предели.

Научен център на ЕС

<https://ec.europa.eu/jrc>

JRC129450

EUR 31122 EN

PDF

ISBN 978-92-76-53493-8

ISSN 1831-9424

doi:10.2760/666413

Люксембург: Служба за публикации на Европейския съюз, 2022 г.

© Европейски съюз, 2022 г.



Политиката на Европейската комисия за повторна употреба се прилага с Решение 2011/833/ЕС на Комисията от 12 декември 2011 г. относно повторното използване на документи на Комисията (ОВ L 330, 14.12.2011 г., стр. 39). Освен ако не е посочено друго, повторната употреба на този документ е разрешена съгласно лиценз Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). Това означава, че повторната употреба е разрешена, при условие че е отдадено заслужено признание и са посочени всички промени. За всяко използване или възпроизвеждане на снимки или други материали, които не са собственост на ЕС, трябва да се потърси разрешение директно от притежателите на авторски права.

Цялото съдържание © Европейски съюз, 2022 г. (освен ако не е посочено друго). Източниците са посочени към съответните фигури в този доклад.

Снимка на корицата: Горивен резервоар, изместен от основата си под въздействието на щормови нагон по време на урагана „Катрина“ през 2005 г. (Снимка: B. McMillan, FEMA).

Как да цитирате този доклад: A. Necci, E. Krausmann, Natech risk management – Guidance for operators of hazardous industrial sites and for national authorities, EUR 31122 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, ISBN 978-92-76- 53493-8, doi:10.2760/666413, JRC129450.

Съдържание

Благодарности	1
Резюме.....	2
1 Въведение	3
2 Характеристики на събития Natech и свързаните с тях предизвикателства	4
3 Въведение в управлението на риска от Natech	6
3.1 Комуникация и консултиране	6
3.2 Установяване на контекста	6
3.3 Оценка на риска	7
3.3.1 Идентифициране на риска.....	7
3.3.2 Анализ на риска	8
3.3.3 Оценка на риска.....	8
3.4 Справяне с риска	8
3.5 Мониторинг и преглед	8
4 Елементи на оценката на риска от Natech	10
4.1 Идентифициране и характеризиране на природни опасности	10
4.2 Идентифициране на критично оборудване	13
4.3 Щети по критично оборудване от природни опасности.....	14
4.4 Фактори, допринасящи за инциденти: предпазни бариери и средства	22
4.5 Идентифициране на опасности от Natech	24
4.5.1 Преки последствия от природните опасности	24
4.5.2 Косвени причини	24
4.6 Анализ на последствията от Natech.....	25
4.6.1 Загуба на херметизация и критични събития	25
4.6.1.1 LOC сценарии за състояния на повреда	27
4.6.2 Моделиране на сценарий за последици от Natech	28
4.6.2.1 Верига на събитията при Natech	28
4.6.2.2 Едновременни аварии	29
4.6.2.3 Условия на околната среда.....	29
4.6.2.4 Излагане на въздействие и уязвимост на крайните приемници	31
4.7 Оценка на вероятността на Natech	31
4.7.1 Вероятност на изпускане/събитие от най-висок клас.....	32
4.7.1.1 Вероятност на повреди	32
4.7.1.2 Вероятност от критични събития, поради преки повреди	33
4.7.1.3 Вероятност на косвени Natech аварии.....	33
4.7.2 Специфични за Natech дървета на събитията	34
4.8 Оценка на риска от Natech	35
5 Мерки за намаляване на риска от Natech	36
5.1 Намаляване на въздействието от природни опасности.....	36

5.1.1	Физически мерки	36
5.1.2	Процедурни мерки	36
5.1.2.1	Преди събитието	37
5.1.2.2	След събитието	37
5.2	Проектиране и модернизиране на оборудването	38
5.3	Предпазни бариери и спомагателни системи	39
5.4	Аварийно планиране и реагиране на Natech аварии	40
5.5	Извличане на поука от минали инциденти на Natech	40
	Списък с източници	42
	Списък на съкращенията и определенията	45
	Списък на каретата	47
	Списък на фигурите	48
	Списък на таблиците	49

Благодарности

Авторите са благодарни на Zsuzsanna Gyenes и Maureen Wood от Съвместния изследователски център на Европейската комисия за внимателния преглед на тези насоки и за полезните коментари, които спомогнаха за подобряването на този документ.

Автори

Amos Necci

Elisabeth Krausmann

Резюме

Природните опасности, като земетресения, наводнения или бури, могат да предизвикат изпускането на токсични вещества, пожари и експлозии, когато засегнат промишлени съоръжения, които обработват, съхраняват или транспортират опасни химикали. Този вид събитие се нарича Natech (технологична авария, предизвикана от природна опасност). Въздействията върху промишлени дейности и опасната инфраструктура са повтаряща се, но често пренебрегвана част от множество ситуации на природни бедствия. С въздействието на климатичните промени върху интензивността и честотата на някои природни явления, рискът от Natech се превърна в предмет на безпокойство за управлението на риска от бедствия на местно, национално и международно ниво.

След редица значими аварии осведомеността относно рисковете от Natech в Европейския съюз се увеличи, а рискът беше признат и в правните актове относно предотвратяването на химични аварии. През 2012 г., с изменение на Директивата „Севезо“ на ЕС относно контрола на опасностите от големи аварии, които включват опасни вещества, изрично въведе риска от Natech като проблем, който трябва да бъде разгледан.

До момента прилагането на ефективно управление на риска от Natech е възпрепятствано от общото отсъствие на насоки относно това как да се извършва оценка на риска от Natech. За да спомогне за спазването на изискванията на Директивата „Севезо III“ или подобни законодателни актове, този документ има за цел да предостави технически насоки относно управлението на риска от Natech за операторите на опасни съоръжения и националните органи. Той определя необходимите стъпки в процеса на управление на риска от Natech и разглежда основните предизвикателства, които възпрепятстват правилното му прилагане. Докато поставя ударение върху идентифицирането и моделирането на конкретни сценарии за оценка на риска от Natech, документът също така представя решения за адресиране на съществуващите пропуски в оценката на риска от Natech и контрола на риска от Natech.

Въпреки, че фокусът на това ръководство е върху изискванията на „Севезо“, принципите за управление на риска от Natech, разглеждани тук, могат също да се приемат и в други промишлени сектори, които работят с опасни химикали.

1 Въведение

Природните опасности могат да предизвикат изпускането на токсични вещества, а също и пожари и експлозии, когато засягат промишлени съоръжения, които обработват, съхраняват или транспортират опасни химикали. Този вид събитие се нарича Natech (технологична авария, предизвикана от природна опасност) авария (Krausmann et al., 2017). Следователно Natech аварията са технологични аварии, а управлението на свързаните с тях рискове влиза в задълженията на оператора на опасен обект. Тъй като климатичните промени засягат някои активатори на природни опасности и с нарастващото се развитие на човечеството (напредваща урбанизация, бърза индустриализация), се очаква рискът от Natech да се увеличава в бъдеще.

Опитът сочи, че голям брой от Natech аварията в миналото са могли да бъдат предотвратени при наличие на по-добра осведоменост и разбиране за риска. След редица значими Natech аварии, осведомеността относно рисковете от Natech в Европейския съюз (ЕС) се увеличи, а рискът е признат в правните актове относно предотвратяването на химични аварии. Директивата на ЕС „Севезо III“ (2012/18/ЕС)¹ изисква националните власти да упражняват надзор върху прилагането на ефективни политики за безопасност за контрол на опасностите от големи аварии в промишлени съоръжения, включващи опасни вещества. В тази рамка, операторите на предприятия с висок рисков потенциал са задължени да представят доклад за безопасност на своите национални власти, за да демонстрират, че са оценили всички рискове, включително тези, които се дължат на въздействието на природни опасности, и че са предприели всички мерки за предотвратяване на големи аварии. Мерките за безопасност, въведени в опасните предприятия, следва да се основават на рисковете, идентифицирани и оценени в доклада за безопасност. В директивата изрично се посочва, че докладите за безопасност трябва да включват *„подробно описание на възможните сценарии за големи аварии и тяхната вероятност [...], дали причините са вътрешни или външни за предприятието; включително по-специално: [...] естествени причини, например земетресения или наводнения“* (Приложение II към Директива „Севезо III“).

Изследване, проведено от Krausmann и Baranzini (2012 г.), относно състоянието на управлението на риска от Natech в ЕС установи, че прилагането на ефективно управление на риска от Natech се възпрепятства от общо отсъствие на насоки за оценка на риска от Natech, при липса на които, предприятиите от операторите мерки за намаляване на риска е възможно да бъдат непълни или недостатъчни. Оттогава са стартирани национални и международни инициативи, които доведоха до изготвянето на специфични за природните опасности или от високо равнище ръководства за повишаване на осведомеността и по-добро управление на рисковете от Natech (напр. INERIS, 2014 г.; OICP 2015 г.; UNI, 2021; TRAS 310,320, 2022 г.; DSB, 2022 г.). Този документ допълва тези инициативи, като осигурява първите пълни технически насоки за оператори, в които е описан процесът на анализ на риска от Natech по систематизиран начин, и които са приложими за всички активатори на природни опасности.

За да се спомогне за спазването на изискванията на Директива „Севезо III“, в този документ се представят основните характеристики на Natech аварията, събрани през годините на наблюдение и проучване, и се осигуряват ясни насоки относно начина на идентифициране, анализиране и третиране на рисковете от Natech в промишлени обекти. В този контекст се обръща особено внимание на идентификацията и моделирането на конкретни сценарии за оценка на риска от Natech. Използвайки практически примери, ръководството също така предлага решения за по-добър контрол на риска от Natech.

Въпреки, че управлението на риска от Natech следва да се прилага както на местно, така и на териториално ниво, това ръководство се концентрира върху нивото на обекта и се отнася с приоритет към операторите и инспекторите на предприятия по „Севезо III“. Представената информация, обаче, е насочена също и към националните органи, отговорни за осигуряване на спазването на законодателството за предотвратяване на големи аварии.

Въпреки, че това ръководство е свързано основно с изискванията на „Севезо“, принципите за управление на риска от Natech, разглеждани тук, могат да се възприемат и в други сектори, като например в индустрията, която работи с опасни химикали в количества под тези на критериите за класификация на „Севезо“, добив на петрол в морски райони, критична инфраструктура, съоръжения в сферата на отбраната и транспортиране на опасни химикали.

¹ <https://ec.europa.eu/environment/seveso/legislation.htm>

2 Характеристики на събития Natech и свързаните с тях предизвикателства

Natech аварията са клас каскадни събития, които се проявяват, когато технологичните системи са засегнати от въздействието на природни опасности, което на свой ред води до изпускането на опасни химикали. Natech събитията са възниквали по време на множество природни бедствия в миналото и често са имали значително въздействие върху общественото здраве, природната и изградената среда, както и икономиката (Krausmann et al., 2017 г.). Противно на общоприетото схващане, Natech събитията могат да се предизвикат и от „незначителни“ природни опасности. Например в рамките на изследване, което разглежда управлението на риска от Natech в Европейския съюз, Krausmann и Baranzini (2012 г.) установяват, че противно на впечатлението за риска, броят на аварията, причинени от мълния и ниска температура, е значително по-висок от броя на аварията, предизвикани от бури и земетресения.

Характеристиките на Natech събитията се различават от тези на другите видове технологични аварии. Липсата на осведоменост и ниската готовност могат да ограничат значително ефективността на съществуващите подходи за управление на риска срещу Natech аварии. Някои от повтарящите се характеристики, които трябва да се вземат под внимание при управлението на риска от Natech, са:

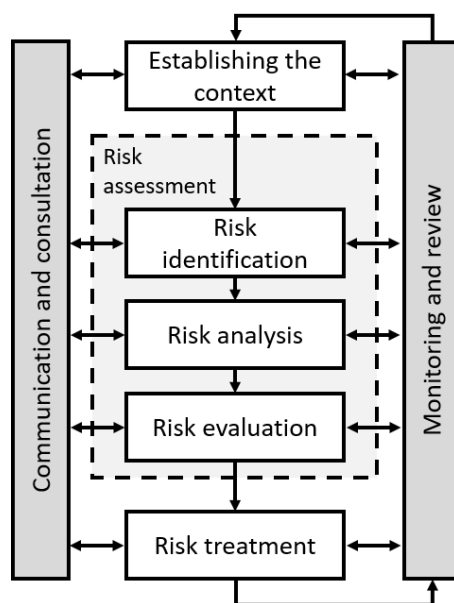
1. **Някои природни опасности могат да засягат големи площи и да се отразят на няколко опасни промишлени обекта и съоръжения едновременно** (напр., земетресения, наводнения, бури). Те могат да задействат множество Natech аварии едновременно, което може да доведе до ситуации, в които последствията от множество аварии се наслагват и по този начин затрудняват ограничените ресурси за реагиране в извънредни ситуации и имат по-силно въздействие върху засегнатата област, отколкото би имала всяка отделна авария самостоятелно.
2. **Природните явления могат да засягат изградени от човека защитни бариери** (напр. ограничителни диги, датчици за газ, аларми, резервни генератори на енергия, системи за разпръскване на вода), които са предназначени за справяне с опасни ситуации и предотвратяване на развитието им до мащабни аварии. Подобно на въздействията върху съоръженията, природните опасности могат да нарушат или унищожат множество предпазни бариери едновременно, по същество осуетявайки всеки опит за подобряване на надеждността на системите за безопасност чрез резервиране.
3. **Природните явления могат да нарушат спомагателни системи и комунални услуги** (напр. електроенергия, вода, линии за комуникация), като по този начин предизвикват или влошават аварията. В едно преработващо съоръжение загубата на комунални услуги може да доведе до разнообразни нежелани събития, напр. загуба на контрол върху промишлен процес, невъзможност да се използва предпазното оборудване или невъзможност да се установи връзка с местните органи за гражданска защита и да се изпълнят правилно аварийните планове при извънредни ситуации.
4. **Възможно е стандартните мерки за реагиране при извънредни ситуации да не функционират или да не са подходящи по време на авария, причинена от голямо природно събитие.** Процедурите, които обикновено се използват по време на конвенционални технологични аварии, като намиране на подслон на място или евакуация, е възможно да не са приложими. След възникването на природно бедствие пътищата често са непроходими, напр. поради наводнение или паднали дървета. Възможно е служителите на спасителните служби да не могат да достигнат до обекта, като по този начин се увеличава времето за реагиране, докато хората в риск, включително персоналет на предприятието/съоръжението, не биха били в състояние да се евакуират (Steinberg et al., 2008 г.). В допълнение защитата от изпуснати химични вещества чрез оставане на закрито (подслон на място) е възможно да не е приложима, когато структурната цялост на една сграда е нарушена, напр. от земетресение.
5. **Природните опасности могат да утежнят последиците от Natech аварии**, като създават вторични опасности или разширят зоната на въздействие на аварията. Например, изпускането на вещества във водите при наводнение може да разпространи опасни химикали на големи площи и следователно да увеличи замърсяването или риска от пожар. Също така, някои иначе безвредни химични вещества могат да променят характеристиките си при контакт с вода (при наводнение, дъжд), отделяйки токсични или запалими пари, които създават нови опасности за населението и за служителите на спасителните служби.
6. **В сравнение с други видове технологични аварии, Natech аварията имат по-висока вероятност от възникване на ефект на доминото** (процес на разпространение на една авария към близки обекти или други съоръжения, който води до повишаване на последствията на първоначалната авария) (Krausmann et al., 2017 г., стр. 4). Това се дължи основно на ограниченията в миграцията на последствията от Natech аварии, споменати в предходните точки.
7. **Природните опасности могат да предизвикат каскадни ефекти**, които могат да причинят вторична природна опасност, засягаща промишления обект (напр. свлачище, предизвикано от силни дъждове; цунами, предизвикано от земетресение). Природните опасности и каскадните им ефекти могат да причинят щети и прекъсвания отделно, но също и поради комбинираното им въздействие, което трябва да се взема под внимание в оценката на риска от Natech. Например, при земетресението в Тохоку през 2011 г. цунамито беше основната причина за щети в няколко сектора и доведе до разпространяване на опасни химикали в околната среда (BARPI, 2013 г.).
8. **Природните опасности се променят във времето и мястото**, поради климатичните промени и е необходимо предвиждане и адаптиране към тези промени, за да бъде управлението на риска от Natech ефективно. Ако са налице нови сведения за конкретна природна опасност, предходните

оценки на риска от Natech и мерките за управление на риска, въведени в резултат на тях, трябва да се прегледат и преработят при необходимост. Адаптирането на стратегиите за управление на риска според променящите се гранични условия, които е възможно самите да са свързани с несигурност, е източник на затруднения.

3 Въведение в управлението на риска от Natech

„Управлението на риска“ се състои от всички координирани дейности за управление и контрол на една организация във връзка с риска. Управлението на риска обхваща целия процес на идентифициране и оценка на риска, определяне на цели и създаване на оперативни системи за техния контрол. Рискът се определя най-общо като вероятността от възникване на специфичен ефект в рамките на определен период или при определени обстоятелства. **В контекста на безопасността на процеса, рискът е мярка за комбинацията от степента на последствията от една авария и вероятността им.** В общия случай организациите използват управлението на риска, за да се справят с вътрешни и външни фактори, които създават несигурност по отношение на постигането на целите на организацията. Едно от основните приложения на управлението на риска в производствата с опасни процеси е контролът на риска от големи аварии. Опасностите, с които се занимава управлението на риска, включват тези от природни явления и такива от създадени от човека системи, които пораждат редица физически, финансови, правни и обществени рискове (Mannan, 2005 г.). Процесът на управление на риска се състои от редица общи стъпки (Фигура 1). В тази глава се разглеждат стъпките въз основа на ISO-31000² в контекста на рамка за управление на риска от Natech с фокус върху оценката и третирането на риска.

Фигура 1. Процес на управление на риска.



Източник: ISO 31000:2009(E)

3.1 Комуникация и консултиране

Комуникацията и консултирането с вътрешните и външните заинтересовани лица, следва да се осъществява на всички етапи от процеса на управление на риска. Тези дейности следва да засягат всички рискове, включително техните причини и последствия, както и мерките за справяне с рисковете. Консултирането гарантира, че всички интереси във връзка с риска са взети под внимание. Това спомага за правилното установяване на контекста на управлението на риска и за утвърждаването на планове за справяне с риска. Важно е да се отбележи, че възприятията за риска могат да се различават между различните заинтересовани страни поради различия в ценностите, интересите, нуждите, допусканията, концепциите и опасенията.

3.2 Установяване на контекста

На този етап, организацията прецизира своите цели, определя вътрешните и външните параметри, които да се вземат под внимание при управлението на риска и задава обхвата и критериите на риска за останалия процес. В това отношение за всички европейски химични предприятия с риск от големи аварии, основната цел е да се контролира рискът за работниците на обекта, за населението в близост до него и за околната среда, поради присъствието

² ISO 31000:2009(E) Risk management - Principles and guidelines, 1st ed., 2009, International Organization for Standardization, Switzerland.

на опасни химикали в райони с природни опасности, в съответствие с националните правила, които транспонират изискванията на Директивата „Севезо III“ на ЕС.

В рамките на „Севезо“, операторите са задължени да предприемат действия за предотвратяване на големи аварии на обекта, включително Natech аварии, и да ограничават последствията им. За да постигнат тази цел, трябва да се идентифицират, оценяват и управляват рисковете във връзка с изпускането на опасни вещества. За тази цел операторът следва да състави политика за предотвратяване на големи аварии (МАРР), прилагана чрез подходящи средства, структури и система за управление на безопасността (SMS). Информацията, генерирана в контекста на управлението на риска от Natech, наред с други, се използва за съставяне на вътрешния аварийен план на обекта, който след това също се подава до компетентния орган, за да може да се изготви външен аварийен план.

Земепланирането е ключов компонент за управлението на риска от аварии, тъй като има за цел да идентифицира дали рисковете, създавани от един опасен промишлен обект, са съвместими със заобикалящата територия. В „Севезо III“ тази оценка трябва да отчита присъствието на жилищни райони, търговски дейности, места с обществено предназначение (напр. болници и училища), транспортни маршрути, други промишлености, земеделски площи и защитени територии. Всяка от тези единици може да бъде засегната различно в случай на авария, затова е важно да се разглежда всеки получател на риск отделно. За управлението на риска от Natech, земепланирането също е от значение за определянето, дали даден опасен обект е или би бил разположен в зона, подложена на действието на природни опасности. В този случай може да се вземе решение строежът на предприятието/съоръжението да се премести на друго място или да се въведат допълнителни мерки за защита. Когато няколко опасни обекта се намират в една и съща зона, предразположена на природни опасности, те следва да си сътрудничат заедно, за да контролират риска, в резултат на възможен ефект на доминото, при който аварията се разпространява от един обект към друг.

Всеки оператор следва да разработи собствена политика, за да гарантира безопасността, като контролира големите аварии в съответствие с разпоредбите, стратегическите възгледи на организацията и своите бизнес цели. Тъй като целите имат множество аспекти, критериите на риска и използваните от различните бизнес методики е възможно да се различават значително. Също така, в рамките на един и същ обект е възможно да се прилагат различни методики при оценяването на различните видове риск (например, при изчисляване на риска за околната среда или риска за дейността). При определяне на критериите на риска следва да се вземат под внимание следните фактори (ISO 31000:2009(E)):

- Естеството и видовете причини и последствия, които е възможно да възникнат, и как те ще се измерват;
- Как ще се определя вероятността;
- Времевата(ите) рамка(и) на последствието(ята);
- Как трябва да се определя степента на риска;
- Мненията на заинтересованите страни;
- Нивото, при което рискът става приемлив или поносим; и
- Дали следва да се вземат под внимание комбинации от множество рискове и ако да, как и кои комбинации да се имат предвид.

3.3 Оценка на риска

Оценката на риска е сложен процес, съставен от идентифициране на рисковете, анализ на рисковете и категоризиране на рисковете. Оценката на риска от Natech, която изисква разширения в сравнение с обичайната оценка на промишлените рискове, се разглежда подробно в Глава 4.

3.3.1 Идентифициране на риска

Организацията следва да определя източниците на риск (опасностите), областите на въздействие и събитията, които могат да доведат до рискове (напр. възникване, причини и следствия от смущения на процесите). Целта на тази стъпка е да се състави подробен списък на рисковете, присъстващи на един опасен обект, въз основа на събитията, които биха могли да създават, подсилват, възпрепятстват, влошават, ускоряват или забавят един риск. Следва да се идентифицират всички значителни причини и следствия от събития. Идентифицирането следва да включва рисковете, независимо дали източникът им е под контрола на промишления обект, или не, въпреки че източникът на риск е възможно да не е явен. Той следва също да отчита богата гама от последици от събитието.

Важно: Идентифицирането на рискове и опасности често се използват като взаимозаменяеми понятия в безопасността на процесите. Опасността е общ източник на риск (напр. присъствието на запалимо вещество), докато конкретните рискове могат да се генерират от опасността (напр. присъствие на запалимо вещество в близост до приемник на риск). Стъпката на идентифицирането на рисковете не оценява идентифицираните рискове, но следва да, гарантира, че всички съответни рискове са отразени, преди да се премине към техния анализ. За целите на това ръководство, използваме термина идентифициране на опасност.

За Natech аварии източникът на риска е двоен: от една страна са природните опасности, които е възможно да застрашават обекта; от друга страна са опасностите поради присъствието на опасни химикали и процеси.

3.3.2 Анализ на риска

Анализът на риска има за цел да определи риска, т.е. да оцени тежестта и вероятността във връзка с основните сценарии на аварии. Анализът на риска използва различни техники за определяне на тези два елемента за всеки сценарий. Тези методи могат да са качествени, полуколичествени или количествени, в зависимост от редица фактори, като данни, време и наличие на ресурси, или обхват на анализа. На тази стъпка трябва да се анализират факторите, които засягат последиците и вероятността, по-специално причините и източниците на риска, както и техните положителни и отрицателни ефекти както върху вероятността, така и върху последствията. Резултатите от анализа на риска следва да се поставят в контекста на несигурността и предположенията, които е възможно да засегнат надеждността и достоверността на изводите от анализа.

Анализът на риска осигурява входните данни за категоризирането на риска и стъпките за справяне с риска. Решението за понижаване на риска се основава на резултатите от анализа на риска. Анализът на риска може също да осигури входни данни за вземане на решения, когато трябва да се прави избор във връзка с уместността на различни видове риск или определяне на приоритети за различните мерки за понижаване на риска. Стратегиите за ограничаване на риска и тяхната ефективност също следва да се вземат под внимание в анализа на риска.

За анализа на риска от Natech трябва да се анализират и комбинират както рисковете, породени от природни опасности, така и от технологични опасности.

3.3.3 Оценка на риска

Целта на оценката на риска е да се подпомогне вземането на решения въз основа на резултатите от анализа на рисковете, за това които рисковете трябва да се третират и приоритета за изпълнение на третирането. При категоризирането нивото на риск, получено по време на анализа, се сравнява с критериите за риск, определени на стъпката за установяване на контекста. Въз основа на това сравнение може да се идентифицира необходимостта от третиране на риска. Понякога оценката на риска може да доведе до решение да се извърши допълнителен анализ.

3.4 Справяне с риска

Справянето с риска се състои от подбор и прилагане на едно или повече действия за намаляване на рисковете. Справянето с рисковете предполага итеративен процес на прилагане, мониторинг и преглед, който се повтаря до постигането на определената цел.

Примери за справяне с риска са:

- Избягване на риска чрез вземане на решение за спиране на (или да не се стартира) дейността, която поражда риска;
- Премахване на източника на риск;
- Намаляване на вероятността;
- Ограничаване на последствията;
- Споделяне на риска с друга страна или страни (напр. партньорство, застраховка);
- Вземане на информирано решение за запазване на риска.

Избирането и прилагането на опция за справяне с рисковете изисква сравняване на предимствата спрямо разходите. Например, някои опции за справяне с рисковете е възможно да са недопустими на икономически основания, напр. когато високи разходи водят само до минимално понижаване на степента на риска. Възможно е също някои опции или комбинации от опции да имат ниска стойност, но по-голямо въздействие върху намаляването на риска, отколкото по-скъпи опции.

Опциите за справяне с риска от Natech са разгледани в Глава 5.

3.5 Мониторинг и преглед

Стъпките на мониторинг и преглед са неразделна част от процеса на управление на риска. Мониторингът и прегледът обхващат всички аспекти от процеса на управление на риска и могат да бъдат периодични или инцидентни. Тази дейност, която се прилага, напр. чрез проверки или одити, гарантира, че контролите са ефективни, като същевременно спомага за получаването на допълнителна информация за оценка на рисковете. Тя подпомага анализа и ученето на уроци от събития, успехи и неуспех, както и спомага за

идентифицирането на промени в установения контекст на оценката на рисковете или в естеството на риска, които след това се превръщат в адаптация на справянето с рисковете. Тази стъпка също така спомага за измерването на ефективността на цялостния процес на управление на рисковете.

4 Елементи на оценката на риска от Natech

Рискът от Natech съчетава рискове, които се дължат на природни опасности, и такива поради опасни човешки дейности. Природните опасности могат да се отразяват на рисковете с човешки произход в определена област, като или увеличават честотата (вероятността) на големите аварии в опасни предприятия/съоръжения, или предизвикват множество аварии, които не биха възникнали без въздействието на външна сила (напр. изместване на резервоар поради бурно вълнение и изпускане в придошлите води). В допълнение, когато едно природно бедствие сполети даден регион с промишлени обекти и технологични опасности, предизвиканите Natech аварии е възможно да увеличат въздействието, свързано с природното бедствие, и да възпрепятстват дейностите за реагиране на природното бедствие поради изпускане на опасни химикали (Necci et al., 2018b).

Оценката на риска от Natech изисква адаптиране на обичайните подходи за анализ на промишлените рискове, като се вземат под внимание особените характеристики на риска от Natech (активиране от природна опасност, потенциал за множество и едновременни събития със загуба на съдържимо). Тя изисква също да се идентифицират сценарии на Natech, които отразяват въздействието на конкретни природни опасности върху определен обект. Сценариите за Natech аварии включват сценарий с природни опасности, сценарий за потенциалното въздействие върху предприятието/съоръжението (напр. щети, прекъсване), които водят до критично събитие (напр. нарушение на ограничението), и сценарий на последствия за оценяване на мащаба на щетите. В тази глава се разглеждат необходимите стъпки за анализиране (Стъпки 1 – 6) и оценяване (Стъпка 7) на рисковете от Natech на един промишлен обект. Те са:

1. Идентифициране и характеризиране на природните опасности;
2. Идентифициране на критичното оборудване;
3. Анализ на щетите по критичното оборудване от природни опасности;
4. Идентифициране на опасности от Natech;
5. Анализ на последствията от Natech;
6. Оценка на вероятността на Natech събитие;
7. Оценка на риска от Natech.

Оценката на риска от Natech изисква значително количество входни данни, като информация относно природната опасност, уязвимото оборудване, моделите на щетите и данни за връзката между щетите и изпусканията, модели за анализ на последствията, оценки на вероятността и информация относно получателите на риска (Krausmann, 2017 г.).

Каре 1. Несигурност и липса на данни

Анализът на рисковете неизменно съдържа несигурност, внесена по време на стъпките на процеса на анализ. Тази несигурност произтича от несигурност в моделите, входните данни и общото качество на анализа (CCPS, 2000 г.). Анализът на риска от Natech обикновено съдържа по-голям брой несигурности в сравнение с анализа на другите видове технологични рискове. Това се дължи на честата липса на подробни данни относно активатора на природната опасност (особено за много редки събития), отсъствието на данни за крехкостта на определени видове оборудване и специфични природни опасности или отсъствието на консолидирани модели за анализ на риска от Natech. Анализаторът трябва да реагира, като прилага експертна преценка, която по естеството си е субективна, за да допълни липсващата информация, добавяйки допълнителна несигурност на анализа. Прозрачността по отношение на предположенията, използвани при анализа на рисковете, и съответната несигурност помага на потребителите на анализа да прилагат резултатите му предпазливо.

4.1 Идентифициране и характеризиране на природни опасности

Тази стъпка се състои от събиране и анализиране на данни относно природните опасности (CCPS, 2019 г.). Natech аварията могат да се предизвикат от всякакви природни опасности, включително такива, които настъпват бързо (напр. земетресения, хидрометеорологични събития) или бавно настъпващи (напр. повишаване на морското равнище, суша). Важно е **всички видове природни опасности, които имат потенциала да предизвикат авария на промишлен обект, да бъдат идентифицирани**. Следва да се опише най-малко един сценарий за всяка природна опасност, засягаща обекта. Могат да се използват различни критерии за избор на сценарии за природни опасности (най-вероятни, най-неблагоприятни и др.); всички те са приложими, при условие че изборът е разумен и може да се обоснове.

Описанието на природните опасности може да е вероятно или детерминистично. При детерминистичния подход експертите идентифицират еталонен сценарий на опасност с природно естество (напр. реалистичен най-неблагоприятен вариант, най-вероятен), който се описва чрез своята интензивност (напр. върхово ускорение на земята, дълбочина на наводнението). При вероятностния подход описанието на опасността включва оценка на нейната честота въз основа на исторически записи в допълнение към мярката за интензивност.

Информацията за природни опасности може да се опише по два начина:

1. **Като дискретно събитие (сценарий)** или като набор от дискретни събития (сценарии) с конкретна интензивност (напр. скорост на вятъра, върхово ускорение на земята). Всяко такова събитие (напр. преливане на река, сценарий на земетресение) може да възниква с определена вероятност в еталонен интервал от време. Обичаен начин за описване на вероятността на един сценарий, така че да бъде лесен за разбиране, е на сценария да се присвои „период на повторение“. Периодът на повторение описва средното време между две възниквания на едно и също събитие. Периодът на повторение е висок за събития, които е вероятно да възникнат, и обратно.
2. **Свързано с променлива (параметър на интензивност), която има диапазон от стойности.** Вероятността от достигане или превишаване на дадена стойност на параметъра за интензивност в рамките на еталонен интервал от време се описва с използване на функции за непрекъснато разпределение на вероятността, известни също като **криви на опасността**. За някои опасности, като земетресения, вулкани и цунами, тази информация обикновено се извежда на карти на опасността.

Анализаторите, които разполагат с подходяща информация, могат да адаптират подхода, който предпочитат да използват. От набор от сценарии със съответните им вероятности могат да се изведат криви на опасността. Алтернативно могат да се изберат дискретни събития (сценарии) от крива на опасността, като се използват стойности на избрания параметър на интензивността на определени точни на разпределението (напр. медиана, квартили, перцентири).

На Фигура 2 е показан пример за един сценарий със 100-годишен период на повторение под формата на карта на опасността от наводнение, а на Фигура 3 е показан пример на кривата на опасностите, създадена да представя връзката между земетресението и вероятността за определено местоположение.

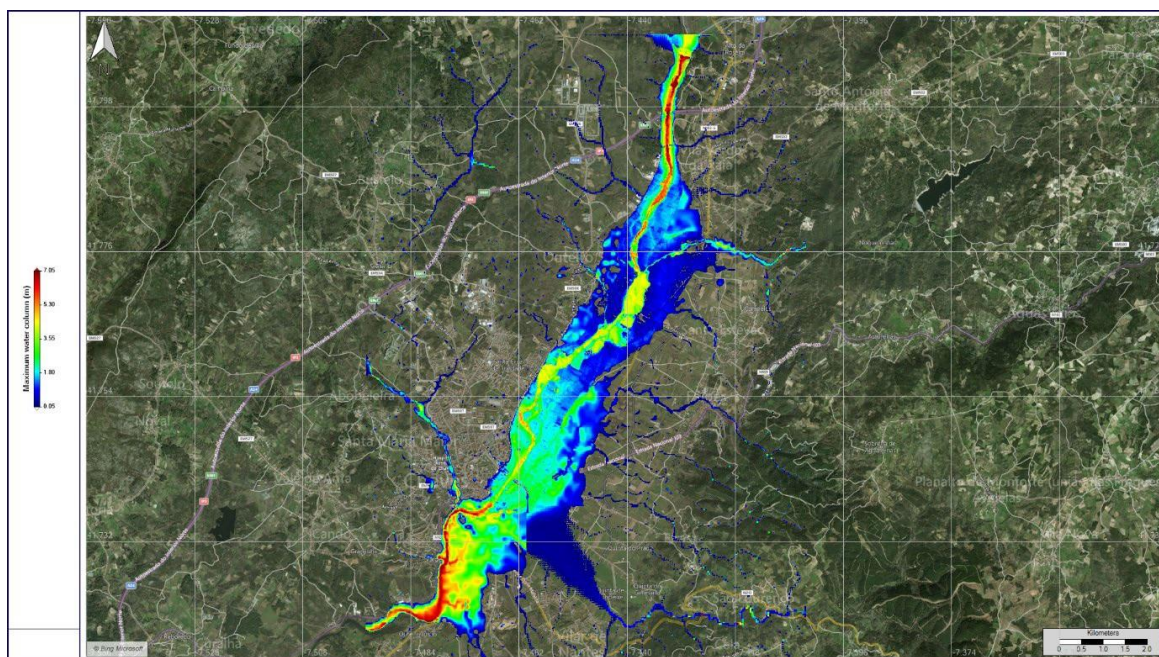
Данните за местоположението на обекта на промишленото съоръжение следва да се използват за описване на параметрите на интензивност на природни опасности (напр. картографиране на сценарии на природни опасности или с помощта на карти на опасностите), което позволява да се идентифицират изложените на въздействие съоръжения в предприятието. Някои сценарии за природни опасности е възможно да засягат не само една част от обекта, а няколко съоръжения едновременно (или дори всички), въпреки че някои части е възможно да са по-уязвими към въздействието на природната опасност.

След като сценарият на природна опасност или съответният му параметър на интензивност е известен, въздействието на природната опасност върху площта около обекта също следва да се оцени накратко. По-специално следва да се идентифицират макроскопични въздействия върху електрическата инфраструктура и пътищата в близост и да се използват по-късно при категоризирането на сценариите за Natech и съответните планове за реагиране при извънредни ситуации.

За всеки сценарий описанието на природната опасност следва да отговаря на следните принципи:

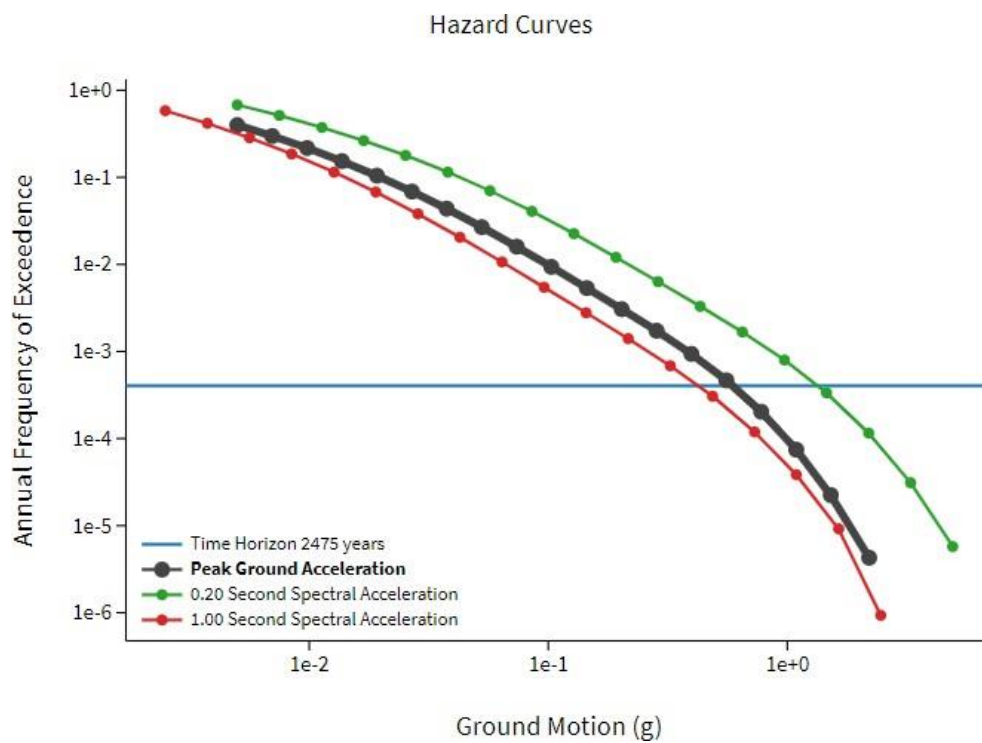
- **Следва да се посочват видът и характеристиките на природната опасност.**
- **Сценариите на природни опасности следва да са подробни и пълни** и да се описват според най-добрите практики.
- Степента на подробностите на **информацията за природна опасност следва да е достатъчна за анализ на рисковете от големи аварии.**
- **Лицето, агенцията, извършваща категоризирането на природните опасности на промишления обект, следва да има подходящи експертни познания и компетенции.**
- **Исходната документация трябва да е лесно достъпна за последващи оценки.**
- **Описанието на природната опасност следва да се основава на надеждни и доверени източници.** Предпочитаните източници на информация обикновено са правителствени органи (напр. гражданска защита, метеорологична служба, геолошко изследване) на национално, регионално или местно равнище.
- **Информацията за природни опасности следва да е възможно най-актуална.**
- **Тя следва да отчита увеличаващата се честота и интензивност на някои природни опасности поради промените в климата.**
- **Тя следва също да отчита други фактори на влияние, като промени в земепланирането с времето и в управлението на природните опасности на територията.**
- **Следва да се състави списък на съоръженията, изложени на вредните въздействия на природната опасност.**
- **Информацията за природната опасност следва да е полезна за оценяване на потенциалните щети за промишленото оборудване (включително помощни системи и предпазни прегради) и/или нарушаването на комуналните услуги (т.е. потенциални инициатори на аварии).**
- **Тази информация следва да включва позовавания на исторически събития във връзка с природни опасности, възникнали на обекта или в близост до него.**

Фигура 2. Пример за карта на дълбочината на водата, свързана с наводнение със срок на повторение от 100 години.



Източник: Fernandes et al., 2022 г.

Фигура 3. Пример за крива на опасността от земетресение, която показва вероятността от превишаване на върховото ускорение на земята на дадено местоположение.



Източник: USGS, Unified Hazard Tool, 2022 г., <https://earthquake.usgs.gov/hazards/interactive/>

Каре 2. Изменение на климата

Управлението на риска от Natech изисква предвиждане на бъдещите промени в климата и адаптиране към предвидените нови условия. Всъщност изменението на климата е свързано с увеличение, както на честотата, така и на интензивността на екстремните хидрометеорологични явления. В допълнение, измененията на климата водят до редица явления, които могат да представляват опасност за промишлени предприятия/съоръжения, намиращи се в определени региони. Те са:

- Повишаване на морското ниво
- Топене на снегове
- Опустиняване
- Горски пожари
- Топене на вечно замръзналите почви

Операторите следва да осъзнават опасностите вследствие на изменението на климата и възможността от увеличение на тежестта на някои природни опасности. Няколко действия могат да спомогнат за справяне с рисковете, които се дължат на изменението на климата, например:

1. Разработване на стратегия за адаптиране към климата.
2. Анализ на природните опасности, които се дължат особено на изменението на климата или се влошават от него.
3. Признаване, че информацията за природните опасности от миналото е недостатъчна сама по себе си за точно прогнозиране на природните опасности в бъдеще, което обхваща целия експлоатационен живот на обекта.
4. Поддържане на актуални оценки на рисковете и адаптиране на аварийните мерки с получаването на нова информация за природни опасности.
5. При отсъствие на ясна оценка на ефекта на изменението на климата върху очакваната тежест на бъдещите природни опасности представяне на тази допълнителна несигурност чрез прилагане на коригиращи коефициенти, които увеличават очакваната тежест на бъдещи природни опасности. Този принцип е приложен в германските Технически правила за сигурност на процесите TRAS 310 (2022 г.) и TRAS 320 (2022 г.). Адаптираните стойности следва да се използват както за оценка на риска от Natech, така и за проектиране на оборудване.

4.2 Идентифициране на критично оборудване

За всеки промишлен обект, изложен на природна опасност, следва да се оценят **потенциалните щети за всички инсталации, които съдържат опасни химикали**. Затова е важно да се определи цялото критично оборудване, което може да доведе до Natech аварии. Анализът следва да се фокусира върху **оборудване, рязкото спиране на което може да доведе до предвидима поредица от събития, която води до опасни ситуации**³. Например доказано е, че резервоарите за съхранение са уязвими за множество природни опасности. В допълнение последствията от аварии на големи резервоари за съхранение могат да бъдат много тежки поради голямото количество опасни химикали, които те съдържат.

Изследванията от миналото представят прагматични методи за предварително класиране на различните видове оборудване въз основа на потенциала му за Natech последствия. Предварителните критерии използват работните условия, обема и физическото състояние на опасните химикали за класифицирането. Всъщност Natech аварията могат да бъдат още по-тежки в зависимост от количеството засегнати опасни химикали и от условията на тяхното съхранение или обработка.

Условията на съхранение и обработка, които се отразяват на последствията от аварията, са;

- **Температура:** При висока температура дори запалими вещества, класифицирани като незапалими, могат да достигнат своята точка на възпламеняване и да създават същата опасност от пожар, както и запалимите вещества. Когато температурата е достатъчно висока, е възможно да се достигне точка на самозапалване. Също така течност, съхранявана при висока температура, е по-летлива, отколкото течност при ниска температура (важи както за запалими, така и за токсични вещества). В резултат на това облак, образуван от изпаряване (или кипене) при висока температура, съдържа повече опасен химикал, отколкото облак, образуван при ниска температура. Прегрялата течност може да „пламне“ при изпускане, създавайки облак от изпарения много по-бързо, отколкото при изпаряване. Високата температура също така води пряко до високо

³ Опасна ситуация представляват обстоятелства, при които хора, имущество или околната среда са изложени на една или повече опасности (ISO 14971).

налягане при съхранение на газ под налягане (увеличението на налягането е почти пропорционално на температура и следва уравнението на състоянието) или втечен под налягане газ (увеличението на налягането е почти експоненциално по отношение на температурата и следва уравнението на Антоан).

- **Налягане:** Високото налягане създава движеща сила, която води до високо равнище на изпускане на опасен химикал в случай на разкъсване или изтичане на съд. За газ по-високото налягане позволява и съхраняване на повече химикал. Съдовете под налягане също така предизвикват взрив при разкъсване и съществува вероятност да изхвърлят фрагменти от разрушения съд във всички посоки.
- **Състояние на материята:** Състоянието на материята влияе на количеството опасен химикал и на работните условия. Течностите съдържат по-голямо количество опасен химикал на единица обем, в сравнение с газовете, но те се нуждаят от повече време за изпаряване. Обаче газовете имат други свойства, които ги правят опасни. Те обикновено се съхраняват и обработват под високо налягане (вж. *Налягане*) и при изпускане те незабавно се пренасят по въздуха. Втечените газове под налягане имат опасни свойства, както на течности, така и на газове. Те имат висока плътност, сравнима с тази на течностите, съхраняват се под налягане и пламват незабавно при изпускане. Прегретите течности имат поведение, подобно на втечен газ под налягане. Втечените газове при много ниска температура имат същото поведение, като течностите, и обикновено не пламват при изпускане. Обаче те се изпаряват много по-бързо от повечето течности.
- **Обем:** Някои процеси по естество са по-мощни от други, което означава, че те съдържат по-големи количества опасни химикали. Съдовете за съхранение обикновено са най-големите съдове и са проектирани да съдържат големи количества вещества. Тръбопроводите и тръбите също могат да съдържат големи количества вещества. Аналогично сепараторите и колоните също съдържат голямо количество опасен химикал, въпреки че те обикновено са по-малки от съд за съхранение и обикновено са напълнени само частично. Реакторите обикновено са най-малките блокове за обработка. Други единици, които могат да съдържат значително количество опасен химикал, са топлообменници, пещи, фурни и котли.

В Таблица 1 е посочен пример за приложението на този подход за получаване на предварително класиране на единици от критичното оборудване. Методът, приложен от Antonioni et al. (2009 г.), взема под внимание максималното разстояние на щетите (изчислено, вземайки под внимание смъртоносните въздействия за хора), очаквано за различни видове блокове и вещества, с подобни сценарии на изпускане (равни диаметри на отвора, през който възниква изпускането).

Важно е да се отбележи, че класирането на оборудването по отношение на ключовото му значение може да има различни резултати в зависимост от разглежданите видове рискове. Всъщност резултатите от класирането е възможно да се променят, когато се промени целта на оценката. Аналогично някои единици, които е възможно да имат висока оценка за един вид риск, е възможно изобщо да не се считат за ключови за друг риск. Например, съдовете за съхранение на течен лубрикант е възможно да се класират високо при изчисляването на разстоянията на щетите, вземайки под внимание въздействието върху околната среда, особено върху водните тела. Обаче същата единица изобщо не е от ключово значение при разглеждане на риска за хората или активите, тъй като смазочното масло не е нито запалимо, нито токсично за хора.

Таблица 1. Примерни критерии за определяне на класирането на елементи от критичното оборудване (Antonioni et al., 2009 г.).

	Съдове за съхранение	Тръби с голям диаметър	Комини	Реактори, топлообменници
Втечен газ под налягане	4	4	3	3
Прегрята течност	3	3	2	2
Газ (компресиран)	3	2	2	1
Криогенна течност	2	2	2	1
Течност	1	1	1	1

4.3 Щети по критично оборудване от природни опасности

За всяка природна опасност е важно да се определят основните начини за нанасяне на щети на всяко критично оборудване, който е част от изложено на въздействие съоръжение. Трябва да се разглеждат начини за нанасяне на щети, които могат да доведат до опасни ситуации или загуба на херметизация (LOC) (напр. спукване на резервоар за съхранение с изтичане). Основните начини на нанасяне на щети за най-

разпространените видове оборудване са описани по-долу.

Щети от огъване: Деформацията на метални заграждения е характерна за много видове природни опасности, когато на конструкцията въздейства рязко натоварване. Самото огъване обикновено не води до загуба на съдържимо. Обаче то може да доведе до нестабилност на конструкцията и може да е съпроводено от други видове щети, като разкъсване на тръби и връзки, разкъсване на метални плочи или откачане на връзката между обшивката и дъното. Щети от огъване често се наблюдават в долната част на резервоари за съхранение при нормални условия след силни земетресения и се проявява като огъване от тип „слонски крак“ или „диамант“ на стената на резервоара (Eidinger et al., 2001 г.; Cooper, 1997 г.). Щети от огъване могат да възникнат също и поради удар от отломки, напр. по време на наводнение, свлачища или силни ветрове, или поради огъване от вятъра при празни резервоари. На Фигура 4 е показан пример за щети от огъване, причинени от земетресение.

Разкъсване на тръби и фитинги: Щетите по тръбопроводите обикновено водят до загуба на херметизация. Земетресенията и наводненията са били отговорни за деформирането и разкъсването на тръбопроводните мрежи, особено при фланци и други видове връзки, чрез изместване на единици, свързани към мрежата (вж. Изместване и преобръщане). Разкъсване често възниква, понеже тръбопроводът обикновено е проектиран да позволява пластична деформация, когато природното събитие причинява големи измествания. Удари от мълния са пробивали тръби както над, така и под земята. Силни ветрове са предизвиквали падане на високи предмети (като струпвания или комини) върху тръби и опори за тръби, което води до разделянето им (Necsi et al., 2018a). Ниските температури са предизвиквали редица аварии поради втвърдяване (замръзване) на съдържимото в тръбите, запушвайки потока. На Фигура 5 е показан пример на разрушаване на тръба при фланцова връзка по време на земетресение.

Фигура 4. Щети от огъване, причинени от земетресение върху силози.



Снимка: E. Krausmann

Фигура 5. Разрушаване на тръба при фланцова връзка по време на земетресение.



Снимка: A.M. Cruz

Разкъсване на метална обшивка: Когато деформацията е достатъчно голяма, металните листи, от които е направена обшивката на съда, е възможно да се разпаднат и да предизвикат LOC. Това явление възниква по-често при оборудване, при което листите на обшивката са занитени или съединени с болтове (Eidinger et al., 2001 г.; Cooper, 1997 г.).

Прекъсване на връзката на обшивката с дъното: При повечето резервоари за съхранение при обичайни условия стените на обшивката и дъното е възможно да се състоят от два отделни метални листа. Когато огъването засяга долната част на съда, пръстеновидната връзка между стената и дъното е под значителен натиск. Разкъсването на съда на това място може да доведе до загуба на съдържимо за опасни химикали. Този начин на повреждане често се свързва с огъване от тип „слонски крак“ на резервоари за съхранение при обичайни условия при земетресения (Eidinger et al., 2001 г.; Cooper, 1997 г.). На Фигура 6 е показан пример за отделяне на обшивката от дъното по време на ураган, вероятно поради щормов нагон и под действието на вятъра (включително възможен удар от отломки).

Повреда на опорни крака: Множество единици на оборудването имат опорни крака, които поддържат теглото им. Тези крака обикновено са проектирани да поддържат собственото тегло на оборудването, включително съдържанието му и известно хоризонтално възбуждане. При земетресения страничните натоварвания могат да надхвърлят проектната спецификация на опорните крака и да причинят разрушаването им, което води до свличане на цялото оборудване на земята (Eidinger et al., 2001 г.; Cooper, 1997 г.). Този начин на повреждане може да предизвика загуба на съдържимо. На Фигура 7 е показан пример за повреда на опорни крака след земетресение.

Разкъсване на неподвижен покрив на резервоар: Когато един резервоар за съхранение има неподвижен покрив, той може да е уязвим под въздействието на природна опасност, тъй като представлява частта от оборудването с най-малкото тегло и дебелина. Силните ветрове могат да предизвикат огъване на покрива (Godoy, 2007 г.) без загуба на съдържимо. Разплизването на течности, предизвикано от земетресения, може да доведе до огъване на покрива и разливане на части от течността извън резервоара през отвори и новосъздадени разкъсвания на покрива (Eidinger et al., 2001 г.; Cooper, 1997 г.). На Фигура 8 е показан пример на щети от вятър по неподвижния покрив на резервоар за съхранение.

Фигура 6. Отделяне на обшивката от дъното на резервоар за съхранение при обичайни условия по време на ураган. Изолацията на резервоара също е отделена.



Снимка: M. Nauman, FEMA

Фигура 7. Повреда на опорни крака на сферичен резервоар за съхранение, причинена от земетресение.



Снимка: H. Nishi

Фигура 8. Повреда на неподвжния покрив на резервоар за съхранение при обичайни условия, причинена от силен вятър.



Източник: NOAA

Повреда на плаващ покрив: Някои от най-големите резервоари за съхранение при обичайни условия, проектирани за съхраняване на големи количества течен продукт, нямат неподвижен покрив, а метална плоча, която плава върху повърхността на течността. При повреда на покрива той може да потъне в течността отдолу. Когато това се случи, повърхността на течността се открива към въздуха и продуктът започва да се изпарява с освобождаване на изпарения в атмосферата (Necci et al., 2018a). В допълнение водосточните тръби, монтирани на покрива (вече потопен), могат да предизвикат изпускане на течността през тръбата и извън резервоара. Основните причини за повреда на плаващ покрив са натрупването на вода поради тежки валежи и разплискване на вода поради земетресения. Когато течното вещество е запалимо, природните опасности е възможно да предизвикват запалване по ръба на уплътнението между покрива и стената на обшивката. Този вид пожар може да ескалира до пожар по цялата повърхност на резервоара. Ударите от мълния и земетресенията са предизвиквали редица пожари на плаващи покриви (Necci et al., 2018a; Girgin, 2011 г.) (Вж. също *Възпламеняване и искри*).

Изместване и преобръщане: Природна опасност е възможно да прилага голяма сила към оборудването, създавайки явления на изместване и завъртане. Когато това се случи, е възможно блоковете да бъдат изтласквани един към друг или да се преобръщат (Krausmann и Salzano, 2017 г.). Това може да предизвика щети при сблъсък и разкъсвания на прикрепените тръбопроводи, като и двете могат да водят до загуба на съдържимо. Изместени и преобрънати резервоари за съхранение са наблюдавани при земетресения поради силно странично ускорение (Eidinger et al., 2001 г.). При наводнения и цунами издигащата сила на плавателността, ударите на вълните и съпротивлението на водата също са предизвиквали такъв тип щети (Necci et al., 2018a). На Фигура 9 и Фигура 10 са показани примери за изместване и преобръщане на резервоари за съхранение поради щети от буря от ураган.

Повреди от пробиване: Острите предмети, натиснати към оборудването, могат да предизвикат огъване и да създадат отвори в обшивката, които да доведат до потенциална загуба на съдържимо (Necci et al., 2018a). Както тежки предмети с ниско тегло, носени от наводнения или цунами, така и по-леки предмети с висока скорост, изхвърляни от силни ветрове, могат да предизвикат щети от пробиване. Повредите от пробиване могат да засегнат оборудването и тръбите, особено такива с малка дебелина на обшивката (или тръбата).

Фигура 9. Изместване и повреда на резервоар за съхранение при атмосферни условия, причинено от ураган, включително изместване на тръба.



Източник: NOAA Office of Response and Restoration

Фигура 10. Преобърнат и повреден резервоар за съхранение при атмосферни условия поради буря от ураган.



Източник: NOAA Office of Response and Restoration

Възпламеняване и искри: Някои природни опасности могат директно да запалят запалими и възпламеними химикали, напр. мълни и горски пожари, предизвиквайки пожари на опасни съоръжения. Зоните в производствените предприятия, които имат запалима или експлозивна среда, са податливи на този вид повреда. В тези случаи оборудването не се поврежда от самата природна опасност, а от пожари или експлозии, задействани от природна опасност. Най-типичният пример за резултат от повреда от запалване са пожарите в големи резервоари за съхранение при обичайни условия, в които се съхраняват нефт и въглеводороди. Най-разпространеният естествен източник на възпламеняване е мълният. Изследване на пожари в резервоари за съхранение при обичайни условия (Chang и Lin, 2006 г.) доведе до заключението, че ударите от мълния са причинили над 90% от всички пожари в резервоари. Мълният запалва запалимите изпарения, които често присъстват в някои блокове (напр. в пространството над плаващия покрив или при отвори в резервоарите за съхранение при обичайни условия). Друга причина за възпламеняване са земетресенията. Те могат да предизвикат силно движение на металните части, които могат да се удрят или трият една в друга, което да създаде искри. Това явление е наблюдавано основно при съединението между стените на резервоара за съхранение при обичайни условия и металните покриви, плаващи върху повърхността на течността, чрез разплискване на течността (Girgin, 2011 г.). Повишаващият се риск от горски пожари също може да представлява все още слабо познат риск за промишленото оборудване, съдържащо запалими вещества.

Препълване: Водата може да се излива върху важни единици, съдържащи опасни химикали, по време на наводнения и силни дъждове. Когато количеството вода надхвърля вместимостта на съда, той прелива, като отнася със себе си част от съдържимото на съда. В този случай съдът не е повреден по същество, но функцията му и ограничаването му са компрометирани въпреки това. Това е разпространено LOC събитие за части от преработващи съоръжения, които са отворени, но съдържат остатъци или по-големи количества опасни химикали, като водостоци, канали и някои съоръжения за пречистване на отпадъци, като хвостохранилища и диги (Necci et al., 2018a).

В Таблица 2 е показана връзката между природните опасности и изброените режими на повреждане, докато в Таблица 3 е показана значимостта на изброените начини на повреждане за избрани видове оборудване.

Таблица 2. Обичайни начини на повреждане, класифицирани по избрани активатори на природни опасности.

Начин на повреждане	Земетресение	Наводнение ⁽¹⁾	Внезапно наводнение ⁽²⁾	Силни валежи	Мълния	Вятър	Свлачище	Ниска температура
Огъване	X	X	X	X		X	X	
Разкъсване на тръби и връзки	X	X	X			X	X	X
Разкъсване	X	X	X			X		
Отделяне на обшивката от дъното	X		X					
Повреда на опорни крака	X		X				X	
Повреда на неподвижен покрив	X			X	X	X		X
Повреда на плаващ покрив	X			X	X	X		
Изместване	X	X	X			X	X	
Преобръщане	X	X	X			X	X	
Повреди от пробиване		X	X		X	X	X	
Възпламеняване и искри	X	X	X		X			
Препълване		X	X	X				

(1) Бавно настъпващи наводнения, като брегови наводнения и речни наводнения.

(2) Бързо настъпващи наводнения, включително повреда на язовирни стени и цунами.

Таблица 3. Обичайни начини на повреждане за избрано оборудване/съоръжения за обработка и съхранение.

	Резервоар за съхранение при обичайни условия	Съд под налягане (цилиндричен)	Съд под налягане (сферичен)	Топлообменник	Фазов сепаратор	Колонна	Пирамида	Дига/езеро	Канали
Огъване	X					X	X		
Разкъсване на тръби и връзки	X	X	X	X	X	X			
Разкъсване	X								
Отделяне на обшивката от дъното	X								
Повреда на опорни крака	X	X	X	X	X	X			
Повреда на неподвижен покрив	X								
Повреда на плаващ покрив	X								
Изместване	X	X	X		X				
Преобръщане	X	X	X		X	X			
Повреди от пробиване	X								
Възпламеняване и искри	X								X
Препълване	X							X	X

Карте 3. Начини на повреждане и работни условия

Важно е също да се идентифицират оперативните условия, при които е по-вероятно да възникнат щети от природни опасности. Например резервоарите за съхранение с високо равнище на запълване е по-вероятно да бъдат повредени при земетресения поради разпукване на вода (Eidinger et al., 2001 г.), докато резервоарите с по-ниско равнище на запълване е по-вероятно да бъдат повредени при наводнения, тъй като по-малкото тегло увеличава силата на повдигане поради плавателността (Godoy, 2007 г.).

Каре 4. Конструкции, проектирани да издържат на въздействие на природна опасност

Някои предприятия/съоръжения са проектирани да издържат на природните опасности, които се отнасят до един промишлен обект, в съответствие със съществуващите кодекси или стандарти. В тези случаи е възможно операторите да се изкушат да твърдят, че не могат да възникнат Natech аварии, тъй като предприятието/съоръжението е проектирано да е устойчиво на природни опасности. Този **подход може да е подвеждащ**, тъй като използваната еталонна проектна интензивност може да бъде надхвърлена в случай на природни явления, които са по-тежки от проектните спецификации.

Защо?

Проектантските процедури за промишлени конструкции се основават на определянето на „гранични състояния“: стойности на параметъра за интензивност на природната опасност, които конструкцията може да издържи без повреда. Изборът на гранични състояния всъщност се основава на честотата на възникване (или периода на повторение) на природната опасност. Обаче **конструкциите не са устойчиви на всички възможни тежести на природни опасности**, а само на тези с интензивност, по-ниска от избраните гранични състояния. Съществува гама от потенциални тежести на природни опасности (такива с по-голям период на повторение в сравнение с използвания сценарий за проектната интензивност), които надвишават проектната интензивност на конструкцията. Поради тази причина конструкторската процедура може да постигне само понижаване на риска за конструкцията, но не може да премахне риска изцяло. Това означава също, че **за всяка конструкция винаги присъства известен остатъчен риск**, дори когато конструкцията е проектирана да бъде устойчива на природни опасности. Обаче степента на този остатъчен риск обикновено не се взема под внимание при оценяване на риска от големи аварии. Структурният риск се пренебрегва поради ниската честота на възникване на граничното състояние. Но това, което може да изглежда като незначителна честота на разкъсване за инженера-конструктор, може всъщност да е значителна честота за възникването на критични събития (т.е. събития от най-висок клас).

Какво следва да се прави?

Операторите следва да приемат, че Natech аварии са възможни дори ако оборудването е проектирано да издържи на някои тежести на природни опасности, следвайки принципа на „авариите въпреки предпазните мерки“, описан в германското правило TRAS 310 (2022 г.). Ако е възможно, **същият източник на информация за природна опасност, използван при определянето на гранични състояния, следва да се използва при оценката на рисковете от Natech**. Сценариите на природни опасности с честоти, по-ниски от тази на граничното състояние, също следва да се вземат под внимание при оценката на Natech аварията. Едва след като сценариите за Natech са анализирани и оценени, следва да се отхвърлят сценариите на природни опасности, чието общо въздействие, вземайки предвид и Natech аварии, все още се счита за незначително. При използване на детерминистичен подход, експертите следва да избират възможно най-високата налична интензивност на природната опасност като най-неблагоприятен сценарий на природна опасност, особено ако това е единствената стойност, по-висока от проектната интензивност.

4.4 Фактори, допринасящи за аварии: предпазни бариери и средства

Една от основните характеристики, които описват Natech аварията, са щетите или прекъсванията, причинени от природни опасности, на контролните системи, инструменти, предпазни прегради и друго оборудване, които не съдържат опасни химикали, но функционирането на които все пак може да е ключово за безопасността (Necchi et al., 2018b; Krausmann и Salzano, 2017 г.). Аналогично опасностите с природен характер могат да нарушат помощни системи и да прекъснат услуги, които са предназначени да гарантират правилното функциониране на обработващото съоръжение. Тъй като тези системи могат да влияят на изхода на една авария, повреждането и прекъсването им може да се счита за **фактор, допринасящ за Natech аварии**. При някои условия допринасящите фактори могат да се превърнат в **косвени активатори на Natech аварии**, но обикновено те променят (обикновено влошават) изхода на Natech аварията, като напр. **понижават ефективността на наличните предпазни прегради**.

Това може да доведе до един от следните изходи или и двата:

1. **Нарушаване на системите за сигурност** (напр. за откриване на изтичане/пожар, справяне с пожари, автоматично изключване) **поради въздействието на природната опасност**. Като резултат е възможно да се създадат опасни ситуации и те лесно да се превърнат в авария, която да не бъде ограничена. Това може да повиши вероятността от Natech аварии и да предизвика неограничени последици с потенциално по-тежки въздействия както в границите на обекта, така и извън тях.
2. **Нарушаване на основни помощни системи** (напр. електрозахранване, компресиран въздух, пара, охлаждаща вода), **ведещо до неконтролирани нарушения на процесите**, които могат да се превърнат в опасни ситуации и в крайна сметка да доведат до мащабни аварии (вж. също Раздел 4.5.2).

Въпреки че в няколко проучвания е документирана уязвимостта на помощните и защитните системи за природни опасности (напр., Necchi et al., 2018a,b; Misuri et al., 2021 г.; Girgin, 2011 г.), все още няма или са налице малко количествени данни, които могат да се използват за оценка на рисковете. Затова се препоръчва подход на най-неблагоприятния сценарий. Когато се разглежда уязвимостта на предпазните и помощните системи за определен сценарий с природна опасност, общото правило е да се **счита за недостъпна всяка система, която не е проектирана**

специално да издържа на интензивността на избрания сценарий на природна опасност. Започната е работа за осигуряване на по-реалистична оценка на ефективността на предпазните прегради при натоварване от природни опасности (Misuri и Cozzani, 2021 г.).

В списъка по-долу са посочени най-важните системи, нарушаването на които може да е опасно в едно преработващо съоръжение:

Загуба на захранване: Анализът на аварии в миналото показва, че прекъсването на захранването е повтаряща се характеристика на Natech аварията, която може да се причинява от различни видове природни опасности, напр. чрез прекъсване на въздушните линии при бури или земетресения или наводняване на подстанции при наводнения. Загубата на захранване обикновено не следва да е достатъчна, за да причини сериозни последствия, при условие че обработващите съоръжения обикновено разполагат с резервни източници на захранване, които се включват в случай на неизправност на основния източник и извършват безопасно изключване на инсталациите. Обаче Natech събитията в миналото показват, че резервното захранващо оборудване (напр. UPS, резервен генератор) често е ставало недостъпно поради същото събитие с природен характер, което е прекъснало основното електрозахранване. Множество други системи също разчитат на електрозахранване, напр. контролни системи, помпи, компресори, бъркалки и осветление.

Загуба на вода: Водата е от ключово значение за редица функции в едно преработващо съоръжение. Природните опасности могат да прекъснат водоснабдителната мрежа, като повредят водните резервоари, повредят/изместят тръби или направят помпите недостъпни. Водата е от основно значение за поддържане на охлаждането на критичното оборудване (напр. химичните реактори). Когато водата е недостъпна, операторът може да загуби контрол върху ключовите процеси, като екзотермични химични реакции, което потенциално да доведе до неконтролируеми реакции и загуба на съдържимо. В допълнение противопожарните системи се нуждаят от големи количества вода, за да контролират и гасят пожари.

Загуба на пара: Парата е основният вектор за осигуряване на отопление на инсталациите в едно преработващо съоръжение. Природните опасности могат да нарушат системата за пара, като повредят водните резервоари, нарушат или повредят бойлери, разрушат/изместят тръби или причинят изтичане с последваща загуба на налягане в мрежата. Аналогично на загубата на вода при загуба на пара са възможни нарушения на процесите, които да са трудни за контролиране. При някои инсталации парата се използва за предизвикване на преход на фаза или за поддържане на подходяща фаза на обработвания химикал. Линиите за обработка също така често се съпровождат с паропроводи, които имат за цел да предотвратят спад на температурата между един обработващ блок и друг. Тази функция е изключително важна през зимата и като цяло в студена среда. Когато тази функция се изгуби, спадовете на температурата могат да доведат до втвърдяване на продукти в линиите за обработка и последващо запушване на тръбите. В крайна сметка тези събития могат дори да предизвикат повишаване на налягането в линиите, което да доведе до неизправност или разрушаване на тръбите.

Загуба на сгъстен въздух: Сгъстеният въздух се използва в множество инсталации за задвижване на пневматични инструменти, както и за оборудване за автоматизация и конвейери. Сгъстеният въздух е сред ключовите елементи на управлението на промишлените процеси. Природните опасности могат да нарушат системата за сгъстен въздух, като повредят резервоарите за въздух, разрушат/изместят тръби или причинят изтичане с последваща загуба на налягане в мрежата. Загубата на сгъстен въздух може да доведе до загуба на контрол върху процеса и опасни нарушения на процеса.

Неизправност на системите за контрол: Контролът е основна функция на всички промишлени процеси. Системите за контрол на процеса се състоят от една или повече контролни вериги, съставени от няколко различни елемента: датчик, който измерва променливите на процеса, предавател, който предава информацията, самият контролер, който обработва информацията и активатор, който превръща сигнала в действие. Повредите по всеки от тези елементи води до неизправност на цялата система за контрол. Големите процеси обикновено имат разпределена система за контрол (DCS), която съдържа множество контролни вериги. Много е разпространено системите за контрол да имат едно или повече равнища на резервиране за повишаване на надеждността. Обаче въздействията от природни опасности могат да засегнат както основната система за контрол, така и резервните системи едновременно.

Неизправност на инструменти: Инструментите за откриване и измерване на променливите на процеса могат да се повредят от природни опасности и като следствие да връщат неправилни данни или изобщо да не подават данни към контролните системи. Например компрометираните датчици за газ, дим и пожар в помещенията на обекта е възможно да не отчетат опасна ситуация или авария, или да не активират аларми, което удължава времето за реагиране на опасността. Аналогично неизправните инструменти могат да предизвикат опасни изменения в процесите.

Неизправност на помпа/компресор: Помпите и компресорите е възможно да се повредят по различни начини по време на въздействие на природна опасност; например е възможно те да спрат да работят поради липса на електроенергия при прекъсване на захранването, възможно е моторът им да бъде потопен във вода при наводняване или е възможно да бъдат ударени от отломки, носени от наводнение или от вятъра. Неизправността им може да доведе до загуба на налягане в обработващи единици или да причини прекъсване на потока (или обратен поток) във важни линии за обработка, създавайки по този начин неконтролирани колебания на процеса, които могат да доведат до загуба на съдържимо.

Неизправност на факела: Опасностите с природен характер могат да причинят повреда или неизправност на запалването. Множество промишлени съоръжения преминават към извънредно изключване в отговор на някои природни опасности или ако въздействието на природната опасност е причинило щети, а съдържанието на обработващите единици се извежда към факела за безопасно унищожаване. Неизправността на факела води до това, че опасният химикал не се запалва и вместо това се извежда директно в околната среда. Обичайните въздействия от природни опасности върху запалването са неизправност на пилотното запалване, повреда на линията за извеждане и щети по факлата.

Каре 5. Разпространени причини за неизправност

Природните опасности могат да нарушават, повреждат или унищожават услуги, помощни системи и предпазни прегради едновременно. Това може да води до сценарии, които обикновено се считат за невъзможни, при които всички предпазни мерки са неизправни едновременно, напр. както при аварията в Аркема през 2017 г. след урагана „Харви“ (Necci et al., 2018a). Затова е важно природните опасности да се отчитат като разпространени причини за неизправност за елементите, на които е възможно те да въздействат.

4.5 Идентифициране на опасности от Natech

Natech аварията се причиняват от загуба на съдържимо на опасни химикали поради въздействието на природни явления, които са външни за процеса. Natech събитията могат да се причиняват чрез преки повреди от природни опасности върху критичното оборудване, което съдържа опасни химикали, или косвено поради изменения в процесите, предизвикани от природни опасности, загуба на услуги или неизправности на системи за защита и контрол

4.5.1 Преки ефекти от природните опасности

Възможно е да бъдат изпуснати опасни химикали, когато основната единица, в която те се съхраняват, е повредена или унищожена от природно явление. Видовете щети и начините на повреждане за най-разпространените видове оборудване са разгледани в Раздел 4.3. В този раздел ще обсъдим възможните аварии, които могат да възникнат в резултат от преки щети, и техните последиствия. Съществуват два основни вида аварии, които могат да се активират от природна опасност, която засяга директно опасни химикали и съдовете, в които се съхраняват:

1. Повреда на съда с изпускане на опасни химикали;
2. Възпламеняване на запалими вещества.

За първия тип аварии основната цел е да се определи дали сценарият на природна опасност има потенциала да повреди анализиранията система и ако да, каква ще е степента на повредата. Най-добрият начин за оценяване дали и как блокът ще се повреди е да се работи с механик-конструктора на блока, който може да предостави сведения за представянето на блока при товарите, прилагани от природна опасност. Най-лесният метод за оценяване на щетите е да се счита, че ограничаването е нарушено, когато проектите спецификации са надхвърлени, с проста логика „да/не“. Друг класически метод за оценяване на щетите е използване на *състояния на повреда*, съчетани с *криви на крехкостта* (Eidinger et al., 2001; FEMA, 2015 г.). Състоянията на повреда обикновено се делят на качествени класове на повреда (напр. няма, незначителна, умерена, значителна, катастрофална). Класовете могат да са специфични или общи, в зависимост от източника на данни и кривата на крехкостта. В повечето случаи всяко състояние на повреда представлява богата гама от видове повреди и начини на повреждане. Кривите на крехкостта осигуряват стойности на вероятностите, които могат да се използват за оценка на вероятността от повреда (вж. Раздел 4.7).

Вторият тип аварии е свързан с наличието на области с експлозивна атмосфера в съоръженията за обработка и съхранение на опасен обект. Експлозивната атмосфера е смес от опасни химикали с въздух, при обичайни условия, под формата на газове, изпарения прах или нишки, в която, след възникване на запалване, горенето се разпространява по цялата смес. Създалият се пожар или експлозия често води до голяма авария. Обаче често това причинява също и значителни щети по съдовете, с последващо изпускане на опасни химикали. Когато това се случи, причиненият пожар или експлозия обичайно е много по-голям, отколкото първоначалният пожар, предизвикан от природната опасност. В допълнение пожарите и експлозиите могат да се разширяват до предприятия или обекти в близост и да създават т.нар. „ефект на доминото“ (Reniers and Cozzani, 2013 г.).

4.5.2 Косвени причини

Косвените причини за Natech аварии засягат идентифицирането на сценарии на аварии, произтичащи от неконтролирани изменения на процесите, предизвикани от природни опасности, които могат да доведат до излизане на промишлените процеси извън безопасния работен модел. Както е споменато в Раздел 3.4, неизправността на услуги или на помощни поддържащи системи също може да доведе до опасни ситуации или Natech аварии, дори по време на или след успешно спиране на процеса. Анализът на аварията от миналото показва, че Natech аварията с косвени причини могат да възникнат също и когато са налице резервни предпазни системи, тъй като всички те могат да бъдат засегнати едновременно от природна опасност (Misuri and Cozzani, 2021 г.). Следователно косвените причини за Natech аварии също следва да се включват в оценката на рисковете.

По принцип сценариите за Natech аварии с косвени причини могат да се идентифицират чрез анализ на процесите и на връзката между различните променливи на процесите. Съществуват редица инструменти за тази цел в традиционното идентифициране и анализ на опасността от голяма авария (напр., HAZOP, FMEA, FMECA, LOPA, списъци за проверка, анализ „Ами ако“). Обаче съществуват няколко фактора, които повишават сложността на идентифицирането на опасностите от авария по отношение на Natech аварии.

Една от основните трудности, която е необходимо да се преодолее, е склонността на анализаторите на риска да опростяват. Въпреки че опростяването е необходимо за извършването на всеки анализ на рисковете, прекомерното опростяване може да доведе до загуба на важна информация. Например е възможно някои сценарии да бъдат сметени за изключително слабо вероятни или дори невъзможни при нормални условия, тъй като те предполагат едновременно неизправност на множество системи. Тези сценарии обикновено се пренебрегват при традиционния анализ на рисковете на аварии с оглед на простотата и предполагаемата икономическа съобразност (Krausmann и Necci, 2021 г.). Обаче повредата на няколко системи едновременно е характерна за Natech аварията. Затова природните опасности са важна разпространена причина за неизправности в множество системи. За да се идентифицират сценарии за косвени опасности от Natech на тази фаза **анализаторите на рисковете не следва да изключват от анализа на рисковете сценарии въз основа на тяхната „предполагаема невъзможност“, освен ако подробно проучване на потенциалното въздействие на природните опасности върху засегнатите системи не е изключило активатор на природна опасност като действително незначителен.**

4.6 Анализ на последствията от Natech

Едно от основните предизвикателства на управлението на риска от Natech е идентифицирането и анализът на надеждни сценарии на последствията от Natech. Последствията и тяхната вероятност могат да се определят чрез моделиране на изходите на едно събитие или набор от събития, като се екстраполира от експериментални проучвания или от наличните данни. Сценарият на последствията се състои от загуба на съдържимо и поредица от събития, които водят до физически ефект (напр. пожар, експлозия или разпръскване на токсични вещества), който има потенциал да нарани хората, да навреди на околната среда или да унищожи активи.

Сценариите на Natech се отличават от тези за други видове технологични рискове (вж. характеристиките на Natech в Глава 2) и обикновено е **подвеждащо да се използват повторно сценарии на последствията, които не се отнасят до Natech, за анализиране на Natech събития**, освен ако не е потвърдено, че условията на сценария са същите. Загубата на съдържимо на опасни химикали, което следва при повреда от природна опасност, следва да се оцени, за да се моделират успешно сценарии за Natech. Обратно, моделите за оценяване на физическите ефекти на Natech аварии не се различават от тези, които се използват за анализиране на последствията на аварии, различни от Natech аварии. Съответна техническа информация и ръководства са налични в Mannan (2005 г.) и van den Bosch и Weterings (2005 г.).

4.6.1 Загуба на херметизация и критични събития

Критичните събития (или събитията от най-висок клас) са в началото на процеса, който води до самата Natech авария. Съществуват два типа критични събития, които могат да се предизвикат от природни опасности:

- Критични събития поради пряка повреда на съд или тръба, която съдържа опасни химикали;
- Критични събития след нарушаване на процес и последващо разрушаване на оборудване или неизправност на системата.

Повечето критични събития водят до загуба на съдържимо на опасни химикали, но съществуват и други видове критични събития, като неконтролирани реакции, изгаряне или пожар. Обаче от съображения за краткост ще се позоваваме на всички преки изходи от ключови събития като LOC. Най-разпространените видове сценарий на LOC могат да се заемат от сценариите, използвани за моделиране на технологични аварии, които не са Natech аварии. Примери за обичайни сценарии на загуба на съдържимо са представени в Таблица 4.

Таблица 4. Общи LOC за различни видове системи.

LOC събитие	Описание	Системи, които демонстрират този тип LOC
Незабавно изпускане	Незабавно изпускане на цялото налично количество опасен химикал	Съдове за съхранение при обичайни условия и за обработка, съдове за съхраняване под налягане и за обработка, топлообменници
Продължително изпускане за 10 минути	Продължително изпускане на цялото налично количество опасен химикал за 10 минути с постоянен дебит	Съдове за съхранение при обичайни условия и за обработка, съдове за съхраняване под налягане и за обработка, топлообменници
Продължително изпускане от отвор в съда	Продължително изпускане на опасен химикал от отвор с известен размер	Съдове за съхранение при обичайни условия и за обработка, съдове за съхраняване под налягане и за обработка, топлообменници
Разкъсване на целия отвор	Продължително изпускане на опасен химикал от тръба, която е разкъсана на две (ефективния диаметър на изпускане е равен на номиналния диаметър на тръбата). Обикновено изпускането става от двете страни.	Тръби, помпи, топлообменници
Изтичане	Продължително изпускане на опасен химикал от тръба, която изтича (напр. ефективния диаметър на изпускане е равен на част от номиналния диаметър на тръбата).	Тръби, помпи, топлообменници
Изпускане от устройство за освобождаване на налягането	Изпускане от устройство за освобождаване на налягането с максимален дебит на изпускане	Устройства за освобождаване на налягането
Разпръскване на съхраняван прах	Разпръскване на част от наличността в помещение за опаковане под формата на прах, който се вдишва	Складове
Разпръскване на съхранявани течности	Разливане на цялото налично количество в помещение за опаковане	Складове
Изпускане на токсични запалими продукти	Изпускане на неизгорени токсични вещества и токсични вещества, образувани при пожара	Складове
Масова детонация	Масова детонация в складово помещение	Експлозивни съхранявани продукти
Пожар в склад	Пожар в складово помещение	Експлозивни съхранявани продукти

Източник: Uijt de Haag и Ale, 2005 г.

Голямо предизвикателство при оценката на рисковете за Natech е това как да се свърже обичайният сценарий на LOC при химична авария със специфична щета от природна опасност. Няма определени насоки за изпълняването на тази задача и понастоящем тази връзка разчита на експертна преценка. Когато използваният модел на повреждане е прост и се отнася за един начин на повреждане, очакваните щети могат лесно да се свържат с LOC. Обаче специфичните модели са осъждани и не са налични за повечето видове оборудване. Поради тази причина оценката на рисковете от Natech се извършва с помощта на общи модели на повредите, като състояния на повреда и криви на крехкостта. В този случай задачата за назначаване на сценарии на LOC на щетата от природна опасност става много по-трудна.

4.6.1.1 LOC сценарии за състояния на повреда

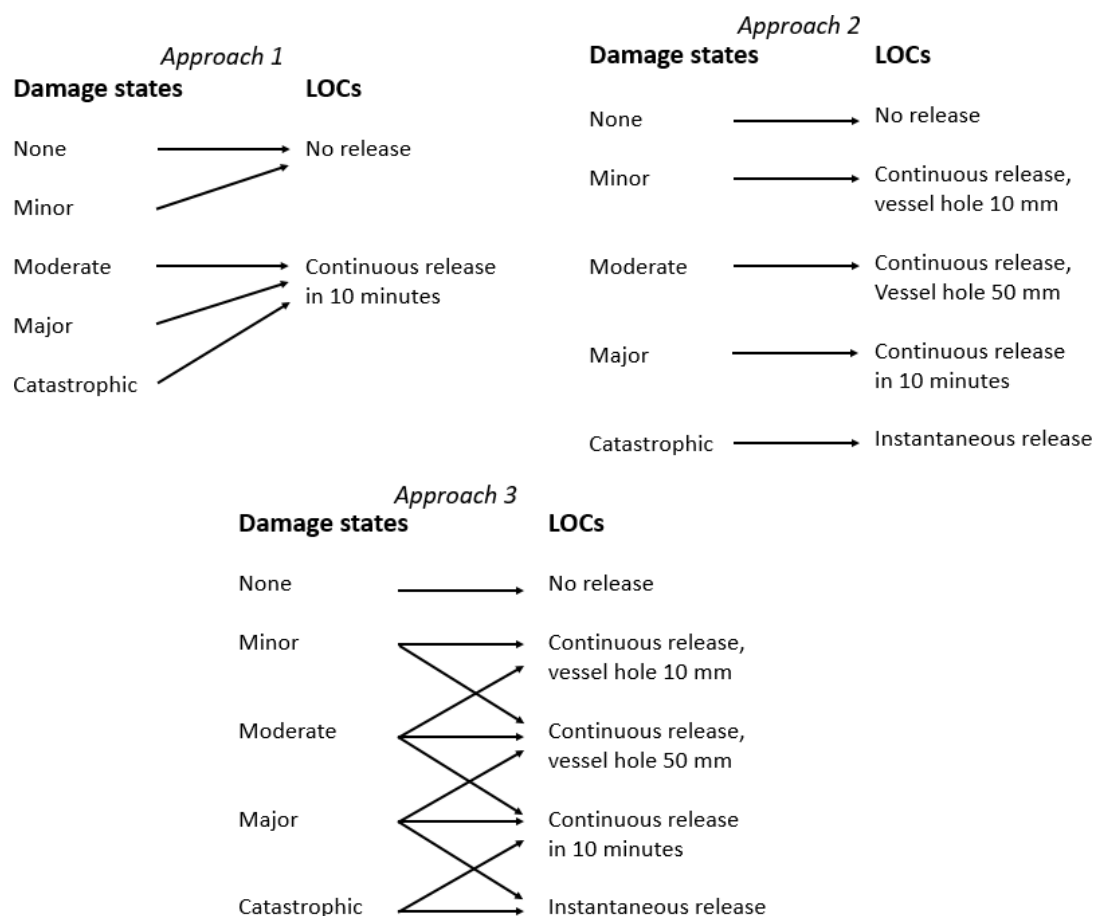
Един от разпространените начини за оценяване на щетите от природна опасност върху обработващи системи, засегнати от въздействие на природна опасност, е да се използват състояния на повреда, както е разгледано в Раздел 4.5.1 (FEMA, 2015 г.). Състоянията на повреда не осигурява специфично описание на щетите, а общо и качествено описание на общото състояние на оборудването след въздействието на природната опасност. Обаче съществува призната празнина в познанията в това отношение, тъй като статистиката за щетите от природни опасности, използвана за изграждане на състояния на повреда, не обхваща събития от най-висок клас и LOC, и обратно. Задачата става по-сложна, когато използваният модел на щетите предвижда множество възможни състояния на повреда в резултат на едно и също въздействие на природна опасност. Когато единственият наличен модел за оценка на щетите се основава на множество състояния на повреда, съществуват три възможни подхода за справяне с допълнителната сложност:

1. **Определяне на един и същ сценарий на LOC за няколко състояния на повреда.** Това решение е най-простото, въпреки че е най-неточно. Създават се две категории състояния на повреда: такива, които могат да доведат до LOC, и такива, които не могат. Често възприемано предположение е това, че състоянията на повреда от типа „без повреда“ и „незначителна повреда“ не биха довели до изпускане, докато всички други биха. След това един и същ сценарий за LOC се свързва с всички състояния на повреда, които могат да предизвикат изпускане, независимо от степента на повредата (напр. LOC е „Продължително изпускане за 10 мин“ за всички състояния на повреда с умерена тежест или повече). Този подход е прилаган в научни изследвания на оценката на рисковете от Natech през изминалите години (Salzano et al., 2003 г., Antonioni et al., 2009 г.).
2. **Определяне на различен сценарий на LOC за всяко състояние на повреда.** Този подход е малко по-сложен. Всяко състояние на повреда има собствен сценарий на LOC (въпреки че са възможни две или повече състояния на повреда с еднакъв LOC). Например LOC е „Продължително изпускане за 10 минути“ за незначителна повреда, „Продължително изпускане от отвор в съда с размер 50 mm“ за умерена повреда, „Продължително изпускане за 10 минути“ за значителна повреда и „Незабавно изпускане“ за катастрофална повреда. Този подход е приложен в инструмента за анализ и наслагване на рисковете на Natech RAPID-N⁴ (Girgin и Necci, 2018 г.).
3. **Определяне на няколко сценария на LOC за всяко състояние на повреда.** Това решение е най-сложното, въпреки че то е също така и най-точното. Хипотезата е, че всяко състояние на повреда може да доведе до множество или дори до всички възможни сценарии на LOC. Обаче вероятността на всеки сценарий на LOC се отчита, като се използват вероятности. Вероятността на големи събития с LOC е по-висока при състояния на значителна повреда, докато вероятността за незначителни събития с LOC е по-висока за състояния на незначителна повреда. Ако състоянията на повреда са несъвместими със сценариите на LOC (например сценарий на LOC за „изтичане“ обикновено не съответства на състоянието на повреда „колапс“), следва да се назначава вероятност 0 на тази специфична комбинация от състояние на повреда и LOC. Този подход не е използван никога досега поради допълнителната сложност, която той внася в анализа. В допълнение към днешна дата не са налице статистически данни, които да позволяват свързване на вероятностите на LOC събития и състояния на повреда.

Трите подхода са обобщени на Фигура 11.

⁴ RAPID-N се предлага безплатно на адрес <https://rapidn.jrc.ec.europa.eu>

Фигура 11. Примери за трите подхода за определяне на сценарии на LOC на състояния на повреда.



4.6.2 Моделиране на сценарий за последици от Natech

Както беше споменато в Раздел 4.4, въздействията на природни опасности могат да нарушават, повреждат или унищожават контролните и помощните системи, както и услугите, създавайки допълнителни фактори за Natech аварии. В Раздел 4.5.2 е разгледано как такива повреди могат да причинят LOC и да инициират авария. В този раздел се разглеждат последиците от недостъпността на системите за изхода на аварията и се представят насоки за изграждане на надеждни сценарии на последиците от Natech, които отчитат характеристиките на Natech, изброени в Глава 2, и допринасящите фактори.

4.6.2.1 Верига на събитията при Natech

Предпазните прегради представляват физически и други средства, поставени за предотвратяване, контролиране или ограничаване на опасни ситуации или аварии (Sklet, 2005 г.). Възможно е предпазните прегради да бъдат повредени или ефективността им да бъде понижена по време на въздействие на природна опасност, тъй като: 1) един или повече от компонентите им е повреден или е станал недостъпен в резултат на въздействието на природна опасност и 2) услугите и помощните системи, които не са част от предпазната преграда, но са необходими за правилното ѝ активиране, са повредени или нарушени. Когато предпазните прегради функционират както е предвидено, аварията може да се избегне изцяло или последиците ѝ да се ограничат. Когато те не работят по план, резултатът е авария с неограничени последици (Misuri et al., 2021 г.). **При оценката на рисковете на Natech сценариите с неограничени аварии следва да се разглеждат, когато предпазните прегради са уязвими за природна опасност.**

Предпазните прегради също така предотвратяват разпространението на аварии, като пожари и експлозии, до инсталации в близост. Когато една Natech авария се разпространи върху обекти или предприятия в близост, предизвиквайки една или повече „вторични“ аварии, процесът се нарича „ефект на доминото“ (Reniers и Cozzani, 2013 г.). Когато последиците от вторична авария са по-големи от тези на „основната“ авария, аварията е „ескалирала“. **При оценката на рисковете на Natech вероятността на сценариите на ескалация следва да се разглеждат, когато предпазните прегради са уязвими за въздействия на природна опасност.** Сценариите на ескалация често включват едновременни аварии дори когато основният сценарий на Natech е такъв с едно изпускане (вж. Раздел 4.6.2.2).

4.6.2.2 Едновременни аварии

Едно от основните усложнения на Natech аварията е възможното **присъствие на няколко ЛОС събития едновременно**. Това може да се адресира, като се отчитат всички възможни аварии, които могат да последват въздействието на природна опасност. За да се направи това, трябва да се разглеждат всички комбинации на сценарии, съставени от всички двойки, тройки, четворки и т.н. **Всяка комбинация представлява различен сценарий на Natech авария, който може да се оцени**. Обаче сложността на този подход се увеличава експоненциално с броя на разглежданите сценарии. В общия случай **колкото по-голям е броят на аварията в една комбинация, толкова по-ниска е вероятността ѝ**. Този подход е демонстриран напр. от Antonioni et al. (2009 г.), които изчислиха комбинациите за най-простия случай, използвайки булева логика (1 = възникнала е Natech авария; 0 = не е възникнала Natech авария). След като всички комбинации бъдат идентифицирани, се разглеждат сценариите (комбинациите), които са най-уместни за оценка на рисковете, а другите се отхвърлят. Определянето кои комбинации са най-уместни не е лесна задача. В общия случай по-уместните комбинации са тези, чието възникване е с по-висока вероятност. Обаче съчетанието от събития, които могат да доведат до катастрофални последици с ниска вероятност не следва да се отхвърля лекомислено, тъй като е възможно то да представлява събитие с високо въздействие и ниска вероятност (HILP).

В допълнение при някои комбинации една авария е възможно да е значително по-важна от другите. В тези случаи последствията от комбинация от аварии или от най-сериозната авария самостоятелно биха били много подобни или дори еднакви. В такива случаи не са необходими съчетания на сценарии, но е достатъчно да се разгледа само сценарият с най-големите последствия.

Друг проблем при едновременните сценарии е това как да се отчете въздействието на два или повече различни ефекта върху един и същ целеви обект, например отделно лице. Както е обсъдено в Antonioni et al. (2007 г.), въздействието на две или повече аварии може да се оценява по различни начини, като а) се добавят стойностите на вредните физически ефекти (напр. топлинно излъчване), б) се добавят дозите (напр. токсична доза), на които са изложени лицата, или в) се добавят уязвимостите на целевия обект (напр. вероятност на смъртен случай). От тези подходи третият позволява оценка на комбинираната уязвимост, предизвикана от различните видове събития (напр. пожари и разпръскване на токсични вещества), докато първите два могат да добавят на ефектите от аварии от един и същ тип (напр. два пожара) (Cozzani et al., 2005 г.). Използвайки третия метод, комбинираната уязвимост на N отделни събития като сбор от уязвимостите на всички събития е:

$$V_{\text{com}} = \sum_{i=1}^N V_i \quad (1)$$

където com е комбинираната уязвимост на N аварии и i е уязвимостта на всяка отделна авария i . Трябва да се отбележи, че по принцип стойностите на уязвимостите зависят една от друга (напр. възможно е да е по-вероятно едно лице да умре, ако е оцеляло след въздействието на една авария, тъй като е възможно да е понесло наранявания или да е отровено). Обаче данните в подкрепа на въздействието на кумулативните ефекти от различни аварии върху потенциални обекти (напр. хора) са оскъдни или отсъстват. Следователно най-разпространеният подход е да се разглеждат всички събития като независими. Пример за употребата на хипотезата за независимост в случай на две отделни аварии, а и б, е представен със следното уравнение:

$$V_{\text{com}} = V_a + V_b - V_a \cdot V_b \quad (2)$$

4.6.2.3 Условия на околната среда

При определяне на последствията от аварията се използват стандартни модели, при които се предполага, че са налице еталонни условия на средата. Обаче някои природни опасности е възможно да променят условията на средата около промишлените съоръжения и е важно сценариите да се моделират, използвайки подходящи стойности за параметрите на околната среда. Тези стойности трябва да са в съответствие с условията за активиране на сценария за природни опасности. За аварии, предизвикани от наводнение, трябва да е известна не само интензивността на природна опасност (дълбочина и скорост на наводнението), но и посоката, в която тече водата. Изпуснатите запалими и токсични вещества е възможно да бъдат пренесени на големи разстояния от наводнението, възможни разпространяващи се пожари или замърсяване на области на значително разстояние от местоположението на разливането (вж. Фигура 12). Примери за параметрите, използвани в стандартни модели за анализ на последствията от аварии и които могат да се променят по време на въздействието на природна опасност, са посочени в Таблица 5.

Фигура 12. Пожар, който се разпространява по повърхността на водата, и разпръскване заедно с наводнение.



Източник: USGS

Таблица 5. Примери за ефектите на въздействията от природни опасности, използвани за моделиране на последиците.

Параметър на околната среда	Възможни ефекти на природни опасности
Температура на околната среда	Някои природни опасности, като топлинни вълни или замръзване, могат да възникват само при определени (изключителни) стойности на температурата на околната среда.
Скорост на вятъра	Бурите и торнадо изискват високи стойности на параметъра за скорост на вятъра.
Атмосферна стабилност	За бури и други атмосферни явления трябва да се избират стойности за атмосферна стабилност от нестабилните класове.
Неравност на терена	Сградите и другите препятствия (напр. дървета) могат да се разрушат от природни опасности, като земетресения, което е възможно да се отрази на разпръскването на опасни химикали в атмосферата. Аналогично други природни опасности, като наводнения и бурни вълни, е възможно да отнесат нови препятствия към сушата (напр. силози, кораби, шлепове), променяйки неравността на терена.
Условия на почвите/земята	Земята може да се разкъса или втечни под въздействието на земетресения, увеличавайки или намалявайки зърнистостта ѝ. При наводнения се приема, че земята е покрита с вода, което също променя зърнистостта. Снегът и ледът също се отразяват значително на състоянията на земята, както и присъствието на разпръснати отломки.

4.6.2.4 Излагане на въздействие и уязвимост на крайните приемници

В сравнение с другите видове технологични аварии крайните приемници на риска от Natech също се влияят от природна опасност. Докато обичайно само изключителни природни явления имат значително въздействие върху населението, ефектите от природните опасности се различават според случая в зависимост от естеството на опасността и нейната интензивност. Тези ефекти следва да се оценяват отделно за всяка природна опасност, която може да засяга промишления обект. Примери за ефекти на природни опасности върху крайните приемници са:

- **Броят на застрашените лица може да е намален** в сравнение с обикновен ден. От една страна природната опасност може да доведе до масова евакуация преди да възникне Natech авария. От друга страна е възможно вече да е имало смъртни случаи поради въздействието на природната опасност.
- **Излагането на населението на въздействието може да е увеличено**, тъй като е възможно то да **няма възможност да се укрие на място**, понеже е възможно сградите да са се сринали или да са значително повредени. Също така лицата, останали под разрушени сгради, не могат да се спасят и да стигнат до безопасно място, докато семействата им и спасителните екипи е възможно да не желаят да ги оставят.
- **Околната среда може да е по-податлива на замърсяване** с химични вещества и въглеводороди, когато вече е повредена от природна опасност.

За да разберем как изчислените физически ефекти на LOC засягат населението, можем да използваме стандартни модели на уязвимостта и не са необходими специфични модели за Natech. Например моделите за токсичен ефект дават количествена оценка на ефекта върху здравето на човека от излагане на въздействието на токсични газове, използвайки прагове, като медиана на смъртоносната концентрация, медиана на смъртоносната доза или непосредствено опасна за живота и здравето (IDLH) концентрация. Моделите на термичното излъчване оценяват въздействието на интензивността на излъчването върху хората (напр. наранявания от изгаряне, щети по структури), докато моделите на свръхналягането на ударната вълна имат за цел да определят количествено ефектите от свръхналягане от експлозии (TNO, 1992 г.). И за трите типа явления могат да се използват и пробит функции за количествено оценяване на уязвимостта на населението за ефектите на LOC. Когато данните са недостатъчни за количествен анализ, могат да се определят качествени категории на последиците (напр. незначителни, сериозни, много сериозни, значителни, катастрофални).

4.7 Оценка на вероятността на Natech

Анализът на рисковете по определение е анализ на вероятността на нежелано събитие. В безопасността на процесите нежеланите събития не са равни. Поради тази причина рискът обикновено се счита за функция както на вероятността, така и на последиците. Тук нежеланите събития са Natech аварии и техните потенциални последици. Оценяването на вероятността е от ключово значение за оценяването на риска и определянето на приоритета на инвестициите за икономически оправдано понижаване на риска от Natech. Най-разпространеният начин за оценяване на вероятността от Natech е да се използват вероятности, но за някои опасности, при които несигурността е голяма, се приемат качествено описание на вероятността. За Natech аварии вероятността от Natech авария и вероятността на природната опасност са свързани. Всъщност вероятността на сценарий на Natech е по-голяма, ако природната опасност е често срещано явление. В допълнение вероятността от Natech авария никога не може да надхвърля тази на сценария за природна опасност, който я е предизвикал.

Сценариите на Natech са сложни събития, които са съставени от сценарий за природна опасност, сценарий на събитие от най-висок клас (или критично събитие) и сценарий на последиците. Вероятността от сценарий на Natech се изчислява като съвместна вероятност на всичките три събития заедно. Следователно оценката на вероятността на Natech е съставена от следните стъпки: Първо се оценява вероятността на природна опасност, като се използва статистика или моделиране на природна опасност. След това се оценява вероятността на събитията от най-висок клас (напр. LOC за определено оборудване) за дадения сценарий на опасност с природен характер, като се използват произволни методики и вероятността на природна опасност като входни данни. И накрая могат да се определят сценариите за последици от Natech, като се използват дървета на събитията или еквивалентни методи. Тези методи позволяват оценяване на вероятността за множество сценарии на последиците от Natech, които могат да възникнат от всяко критично събитие при промяна на условията (напр. запалване/отсъствие на запалване, наличие/отсъствие на предпазна преграда). В уравненията (3) – (5) е обобщена взаимовръзката между вероятностите на определен сценарий за Natech авария, вероятността на критичното събитие и вероятността на сценария за природна опасност:

$$P(\text{Top}) = P(\text{Haz}) \cdot P(\text{Top}|\text{Haz}) \quad (3)$$

$$P(\text{Nat}) = P(\text{Top}) \cdot P(\text{Nat}|\text{Top}) \quad (4)$$

или съчетавайки уравнения (3) и (4):

$$P(\text{Nat}) = P(\text{Haz}) \cdot P(\text{Top}|\text{Haz}) \cdot P(\text{Nat}|\text{Top}) \quad (5)$$

където $P(\text{Nat})$ е вероятността за определен сценарий на Natech авария, $P(\text{Top})$ е вероятността за събитие от най-висок клас (или LOC), $P(\text{Haz})$ е вероятността на природна опасност, $P(\text{Top}|\text{Haz})$ е условната вероятност на събитие от най-висок клас за дадена природна опасност, а $P(\text{Nat}|\text{Top})$ е условната вероятност на сценарий за Natech при значимото събитие.

Както е посочено в разделите по-горе, провеждането на анализ на рисковете за Natech представлява трудност, тъй като все още няма достатъчно налични данни. Поради тази причина е възможно да е трудно или дори невъзможно да се намерят надеждни данни за изчисляване на вероятността на сценарий за Natech. В този случай може да е за предпочитане да се представи качествено описание на вероятността на сценария за Natech (напр. много вероятен, вероятен, възможен, слабо вероятен, рядък), което спомага да се установи относително класиране сред идентифицираните сценарии за Natech.

4.7.1 Вероятност на изпускане/събитие от най-висок клас

Съществуват две основни категории събития от най-висок клас:

- Natech аварии в резултат от директните ефекти на природна опасност (щети) върху конструкцията на съда (вж. Раздел 4.5.1);
- Natech аварии, предизвикани от косвени причини, напр. поради загуба на услуги в резултат на природна опасност (например спиране на електрозахранването) (вж. Раздел 4.5.2).

За първата категория вероятността на събитие от най-висок клас може да е пряко свързана с вероятността оборудването да бъде повредено от въздействието на природната опасност. В този случай щетите обикновено водят до LOC незабавно, въпреки че понякога повреденото оборудване е възможно да поддържа ограничаването. Вероятността от загуба на съдържимо следва да отчита тази възможност. Уравнения (6) и (7) обобщават състава на вероятността от събитие от най-висок клас за даден сценарий на щети, който е възможно да доведе до събитие от най-висок клас или не:

$$P(\text{Top}) = P(\text{Dam}) \cdot P(\text{Top}|\text{Dam}) \quad (6)$$

$$P(\text{Dam}) = P(\text{Haz}) \cdot P(\text{Dam}|\text{Haz}) \quad (7)$$

където $P(\text{Top})$ е вероятността на събитие от най-висок клас, $P(\text{Dam})$ е вероятността от щети, $P(\text{Top}|\text{Dam})$ е условната вероятност на събитие от най-висок клас за дадена повреда, а $P(\text{Dam}|\text{Haz})$ е условната вероятност от повреда за дадена природна опасност. Докато вероятността от повреда обикновено не е трудна за оценяване, почти не съществуват данни относно условната вероятност на събития от най-висок клас при дадена повреда. Поради тази причина най-разпространеното предположение е да се счита, че вероятността на събитие от най-висок клас е равна на вероятността на повредата. Оценката на вероятността на повредата се разглежда по-подробно в Раздел 4.7.1.1.

За втората категория вероятността на критичното събитие може да се оцени, използвайки познати методи, като HAZOP, LOPA, дървета на отказите, FMEA, FMECA и др. Предизвикателството е да се изградят взаимовръзките така, че характеристиките на Natech, посочени в Глава 2, да се отчитат по подходящ начин. По-специално за тази цел е от ключово значение да се отчитат отказите на предпазните прегради и помощните системи, едновременно отказ на възли и системи, както и непригодността на някои от най-разпространените стратегии и дейности за реагиране.

4.7.1.1 Вероятност от щети

Вероятността от щети винаги се оценява, като се използва съответният параметър на интензивността на природната опасност (напр. върхово ускоряване на земята, височина на водата, скорост на вятъра). Този параметър трябва да е свързан с един или повече начина на повреждане. Най-лесният метод за оценяване на възникналите щети е да се счита, че ограничаването е нарушено, когато проектите спецификации на звеното са надхвърлени от интензивността на природната опасност, с проста логика „да/не“. В този случай вероятността от отказ може да се оцени като вероятност от възникване на природно събитие, което надхвърля проектната спецификация на оборудването. Когато природното събитие се описва като един дискретен сценарий, вероятността от повреда за определен сценарий на природна опасност $P(\text{Dam}|\text{Haz})$ е равна на 1, ако стойността на параметъра за интензивност на сценария за природна опасност надхвърля проектите характеристики, докато $P(\text{Dam}|\text{Haz})$ е равно на 0, ако проектите характеристики са по-строги от стойността на параметъра за интензивност.

Обичаен метод за оценка на вероятността от щети за определен сценарий на природна опасност е използването на състояния на повреда и криви на крехкостта (Eidinger et al., 2001 г.; FEMA, 2015 г.). Налице са различни криви за оценяване на вероятността от повреда на промишлено оборудване, инструменти и услуги в случай на въздействие от природна опасност (FEMA, 2015 г.). Кривите на крехкостта и начините на повреждане за обичайни видове оборудване са представени в няколко проучвания (FEMA, 2015 г.; Eidinger et al., 2001 г.; Cooper, 1997 г.; Landucci et al., 2012 г.).

Кривите на крехкостта могат да се свързват с богато разнообразие от видове повреди. С цел опростяване всички тези видове повреди обикновено се разделят на класове повреди (вж. Раздел 4.6.1.1). Кривите на крехкостта

обикновено представят стойности за вероятността на всяко състояние на повреда. Някои или всички състояния на повреда е възможно да доведат до едно или повече критични събития.

Един от възможните методи за намаляване на сложността на анализа е да се разглежда само един еталонен сценарий на LOC (вж. Подход 1 на Фигура 11). В този случай всички състояния на повреда, които са равни на или надхвърлят определено процентно равнище (напр. умерена повреда или по-голяма), ще се считат за активиращи избрания сценарий на LOC и техните вероятности ще се добавят. Този метод е прилаган при проучвания в миналото (напр. Antonioni et al. 2007 г.; 2009 г.; Salzano et al., 2003 г.).

4.7.1.2 Вероятност от критични събития поради преки повреди

Както е посочено в Раздел 4.6.1, трудно е да се определи един тип на критично събитие на един определен тип повреда, още повече да му се определи стойност на вероятност. Анализът на събитията от миналото показва, че **не всички щети, причинени от природни опасности всъщност са предизвикали изпускане**. Към днешна дата няма проучвания, които да са изследвали статистическата взаимовръзка между щетите и изпускането; всички налични данни са качествени. В допълнение съществуват определени видове повреди, които неизбежно водят до изпускане. Например разкъсване на тръбопровод (или откачане), пълно разрушаване на съд и отделяне на връзката на обшивката с дъното водят до изпускане в 100% от случаите ($P(\text{Top}|Dam) = 1$) при условие че повреденото оборудване е поне частично напълнено. От друга страна съществуват видове повреди, които самостоятелно никога не водят до изпускане ($P(\text{Top}|Dam) = 0$). Например някои видове повреда на покрива никога не могат да доведат до изпускане.

Този тип оценка става дори по-сложна, когато се използват състояния на повреда и криви на крехкостта за оценяване на щети по оборудването и вероятността им. За някои видове оборудване дори състояние на повреда, което се счита за „незначително“, може да доведе до изпускане. Също така по-тежките равнища на повреда е по-вероятно да доведат до изпускане. При тази несигурност се препоръчва да се използва стойност от 100% за вероятността на критичното събитие винаги, когато присъства съмнение. В общия случай експертите по сигурност на процесите, подпомагани от инженерите-конструктори, са най-добре подготвени да оценят вероятността от критично събитие.

4.7.1.3 Вероятност от косвени Natech аварии

Косвени аварии могат да се предизвикат също чрез нарушения на процеси, причинени от въздействието на природна опасност върху промишленото съоръжение. Нарушенията на процесите също така редовно се оценяват като причина за технологични аварии (различни от Natech). Съответно могат да се използват същите методи за идентифициране на критични събития (напр. контролни списъци за проверка, анализ „ами ако“, HAZOP, FMEA/FMECA) и за оценяване на вероятността от повреда/неизправност (напр. дървета на отказите, метод на „папийонката“). Обаче един или повече компоненти на една система е възможно да бъдат повредени от природна опасност, което да наруши важни контролни и помощни системи. Следователно **следва да се обреща особено внимание на идентифицирането на „набори от фактори“, в които един (или повече) компонент е уязвим за природни опасности**. В този случай еталонните стойности за надеждност на компонентите (обичайно извлечени от общи източници на данни за надеждността) и системите е възможно да се променят значително поради възможност от повреда от природни опасности.

Трудно е да се определи вероятността от повреда за системи (и техните компоненти), тъй като структурирани и системни изследвания на уязвимостта на оборудването съществуват само за някои от най-разпространените видове оборудване, по-специално резервоарите за съхранение (Cooper, 1997 г.; Landucci et al. 2012 г.; Eidinger et al., 2001 г.). В това отношение стойностите на надеждността за компонентите, засегнати от природно явление, следва да се избират внимателно. Много от защитните и контролните системи са ненадеждни или недостъпни по време на въздействието на природна опасност. **Системите, които не могат да оцелеят при природно събитие, следва да се считат за отказа (надеждност равна на 0) при всяка оценка на вероятността от критично събитие (напр. използване на дървета на отказите или подобни методи)**. Когато оценката на оцеляването на компонентите е несигурна, най-консервативният подход е да се счита, че системата (или компонентът) е отказала, освен ако тя не е специално проектирана да издържа на природна опасност, а използваният сценарий за проектиране има интензивност, равна на или по-висока от използваната при оценяването.

Когато са налице, следва да се използват криви на крехкостта за оценяване на вероятността от повреда за анализирания компонент или система (напр. пригодени криви на крехкостта за засегнатите компоненти). Тази стойност на вероятността може да се използва за оценяване на надеждността на системата (или достъпността). Лесен начин за оценяване на надеждността с помощта на вероятността от повреда е да се разгледа най-ниската стойност между еталонната стойност на надеждността на компонента (извлечена от бази данни за надеждност, напр. Европейската асоциация за сигурност, надеждност и данни (ESReDA), Данни за крайбрежни и брегови данни за надеждност (OREDA)) и допълнението към 1 на прогнозните вероятности за щети.

Каре 6. Пример: Проста прогноза на надеждността

Хипотетична система за извеждане е съединена към сигнална ракета, която има надеждност от 99%. На обекта има две природни опасности, които трябва да се вземат под внимание: земетресения и силни ветрове. Според анализа, извършен за сценария за земетресение, сигналната ракета има вероятност на повреда от 10^{-3} , ако възникне този сценарий. Това означава, че е по-слабо вероятно системата да откаже поради земетресението, отколкото сама. Надеждността на системата би била все така 99% за сценария със земетресение. Според извършения анализ за сценария със силен вятър сигналната ракета има вероятност от повреда от 10^{-1} , ако този сценарий възникне, което означава, че е по-вероятно системата да откаже поради силен вятър, отколкото от други общи причини. За сценария със силен вятър надеждността на системата следва да се приема за 90% вместо 99%.

4.7.2 Специфични за Natech дървета на събитията

Дървета на събитията могат да се използват при оценяване на вероятността от сценарии за последствия на Natech, които могат да възникнат от всяко критично Natech събитие. Тези логически диаграми обикновено се използват, когато от едно събитие е възможно да произтичат множество сценарии (критичното събитие). Всеки сценарий се извежда, като се взема под внимание възникването или не на едно или повече междинни събития. Пример за събитие, което може да промени изхода от Natech авария, е активирането на предпазна преграда. Успешното сработване на предпазната преграда води до сценарий на ограничаване, докато неуспешното сработване води до неограничен сценарий. Други примери за събития, които определят изхода на сценария могат да бъдат напр. възникване на възпламеняване или наличие на вторично ограничаване. **При определяне на дърветата на събитията следва да се вземат под внимание особените условия на сценариите на Natech, включително всички допълнителни фактори.** Това важи за видовете събития, които са от значение в дървото на събитията, но се отнася също и за вероятностите, назначени на успешното и неуспешното възникване на всяко събитие.

Например стойността на вероятността от възпламеняване на запалими вещества може да се счита за равна на 1 в случай на аварии, предизвикани от удари от мълния, тъй като самата мълния се счита за източник на възпламеняване. Аналогично за сценарии на Natech, активирани от мащабни наводнения, вторичното ограничаване (напр. дига), дори и да е налице, следва да се счита за отсъстващо, тъй като то би било напълнено с вода и не би могло да задържи разлятото вещество.

Когато успехът на едно събитие се определя от активирането на сложна система (т.е. съставена от множество различни компоненти, които е възможно да не се активират успешно), могат да се използват дървета на отказите за оценяване на общата надеждност на системата. В този случай общата надеждност на системата следва да отчита както сценария за природна опасност, така и критичното Natech събитие. По-специално поради природна опасност някои компоненти е възможно да имат една (или повече) **обща причина за отказ**. В допълнение всички компоненти, които се считат за откази като условие за възникването на критичното Natech събитие, следва също да се считат за откази в дървото на събитията.

За всяко критично Natech събитие всички компоненти, които са счетени за отказа (или недостъпни) при оценяването на критичното Natech събитие, трябва да се считат за отказа и за всички други последващи събития. Например ако едно критично събитие е причинено от загуба на хранване, тогава всички събития след това критично събитие трябва също да отчитат факта на загуба на хранване (вероятност равна на 1). Надеждността (т.е. оцеляването) на всички други компоненти на системите за сигурност, засегнати от природни опасности следва също да се анализира, тъй като е възможно да не важат стандартните стойности за надеждност.

Каре 7. Примери за дървета на събитията, засегнати от въздействие на природни опасности

Системите са недостъпни

В един хипотетичен сценарий водоснабдителната мрежа, която хранва противопожарната система, е повредена от земетресение, което позволява повреда на резервоар от малък електрически пожар в близост и изпускане на запалимо гориво (събитие от най-висок клас). Обикновено пожарът в резултат на разлив от запалимо гориво би могъл да се ограничи от противопожарната система; обаче тъй като се приема, че противопожарната система е отказала като условие за възникването на критичното събитие, тя не може да ограничи последствията от възможен втори по-голям пожар.

Отказът при заявка се увеличава поради загуба на излишък

В един хипотетичен сценарий, природна опасност е повредила хранващата мрежа на химично съоръжение, което е довело до нарушаване на процеса и в крайна сметка до изпускане на запалима течност. Противопожарната система използва две резервни помпи, едната от които се хранва с електромотор, а другата с дизелов двигател. Пожарът в резултат на разлива на запалимо гориво може да се ограничи от противопожарната система; обаче тъй като хранващата мрежа не работи, противопожарната система може да разчита само на помпата на дизелово гориво. Като резултат съществува по-висока вероятност от отказ при заявка.

Отказът при заявка се увеличава поради възможност за повреда

В един хипотетичен сценарий изключващ клапан е уязвим при сценарий със земетресение, обаче отказът му не е сигурен. Изчислена е вероятност на повреда за компонента в размер от 10%. Надеждността му при нормални обстоятелства би била 99,9%. Поради много точните шансове за повреда анализаторът счита, че надеждността на клапана е само 90% (вж. Раздел 4.7.1.3).

4.8 Оценка на риска от Natech

Информацията за вероятността и последствията, изчислена в предходните раздели от Глава 4, трябва да се комбинира, за да представя общият риск във формат, който е полезен за процеса на вземане на решения. Това често се нарича интеграция на риска. Този процес е еднакъв за рисковете от Natech и различните от Natech и зависи само от избрания подход за анализ на рисковете. Ако е извършен количествен анализ на рисковете, получените мерки за риска обикновено са *индивидуален риск* (напр. риск за отделно лице на определено местоположение – индивидуални криви на риска) и *обществен риск* (риск от напр. 100 или повече смъртни случая – криви F-N). Ако извършеният анализ е качествен, класовете за тежест на вероятността и последствията се комбинират в *матрица на риска*. За по-подробен преглед на подходите за интегриране на риска, както и за техните предимства и недостатъци читателят може да се насочи към Cox (1998 г.).

Анализът на риска от Natech помага на операторите да откриват слабости в системите и да определят приоритети за намаляване на риска, напр. чрез класиране на идентифицираните рискове. В същото време резултатът от анализа на рисковете може да се използва за сравняване с приетите цели или критерии на риска (оценка на рисковете) в съответствие с регулаторните изисквания на държавата. В случай че тези критерии не бъдат изпълнени трябва да се приложат мерки за намаляване на риска. В Европейския съюз тези критерии за риска не са универсални и могат да се основават на риска (напр. приемливи равнища на индивидуален риск) или на последствията (напр. допустими равнища на свръхналягане, топлинно излъчване или концентрация на токсични вещества). За оценка на рисковете от Natech могат да се прилагат и подходи, използвани обичайно за сценарии с химични аварии и не са необходими допълнения, специфични за Natech.

5 Мерки за намаляване на риска от Natech

Опасните промишлени обекти със съответен риск от Natech следва да въвеждат както технически, така и оперативни мерки за предотвратяване на Natech аварии, които са идентифицирали в своя анализ на рисковете, и да ограничават последствията им. Следва да се отдава приоритет на предотвратяването и ограничаването на Natech аварии, рисковете при които са по-високи, или за които присъстват големи несигурности в оценката. В този раздел се разглеждат необходимите ресурси и процедури, за да управляват операторите риска от Natech на опасни обекти.

5.1 Намаляване на въздействието от природни опасности

Една от основните стратегии за ограничаване на риска от Natech е да се защитават обектите или техните критични съоръжения от въздействието на всички съответни природни опасности. Това се постига, като се намали тежестта на природната опасност, която се очаква на обекта, като се прилагат физически или процедурни превантивни мерки.

5.1.1 Физически мерки

Примери за възможни стратегии за ограничаване на въздействието на природни опасности:

- **Изграждане на диги** около изложени на опасност обекти, за да се защитят от наводнения;
- **Изграждане на изкуствени канали**, които отвеждат водите от наводнения встрани от обекта;
- **Изграждане на вълноломи**, които ограничават ефектите на крайбрежните наводнения, бурни вълни и цунами;
- **Стабилизиране на речните брегове** за предотвратяване на ерозия при прииждане на реката;
- **Уплътняване/стабилизиране на почвата** за ограничаване на потенциалния ефект на движение на земята от земетресения;
- **Пренареждане на разположението на предприятията/съоръженията** чрез преместване на критичното оборудване в зони, където е по-слабо изложено на природни опасности (напр. извън зоната на наводнявани райони);
- **Изграждане на издигнати сухи зони**, където следва да се разполагат ключови за безопасността системи в случай, че обектът се намира в зона с опасност от наводнение или цунами (напр. контролни зали, електрически подстанции, резервоари с вода за гасене на пожари и помпени станции, резервни електрогенератори);
- **Монтиране на системи за защита от мълнии**, за да се предпази захранващата система и съоръженията, където се съхраняват запалими вещества;
- **Избиране на местоположението на обекта** извън зоните на природни рискове или такива, в които тежестта на природните опасности е най-ниска (напр. извън наводнявани райони, на разстояние от земетръсни разломи).

Някои от тези действия могат да се предприемат по време на оперативната фаза от живота на промишления обект, докато други са ограничени само до фазата на проектиране. В общия случай е по-безопасно и по-евтино да се избягват природни опасности, отколкото да се защитават съоръжения от въздействията.

5.1.2 Процедурни мерки

Природните опасности могат да предизвикат големи загуби и да застрашават живота на персонала в предприятията/съоръженията. Операторите следва да идентифицират конкретни процедури за определяне на действията, които да се предприемат в отговор на въздействията на природни опасности и на ранните предупреждения, осигурявани от съответните власти.

Процедурите за справяне с природни явления следва да включват:

- Ролите и отговорностите на персонала в предприятието/съоръжението;
- Списък на действията, които да се изпълняват от всяка роля;
- Времето, което отнема всяко действие;
- Точните условия, които инициират процедурата.

Персоналът следва да е наясно с природните опасности, на които е възможно да е изложен обектът. Също така той трябва да е обучен по процедурите, които да се прилагат в случай на въздействие от природна опасност. Процедурите следва да са насочени към увеличаване на вероятността за оцеляване на персонала, особено за тези, които имат ключови роли в реагирането на Natech аварии, като в същото време се предотвратява възникването на Natech аварии.

5.1.2.1 Преди събитието

Когато прогнозите предвиждат природна опасност през предстоящите дни или часове, могат да се предприемат действия за подготовка на обекта за възможно въздействие. Природните опасности имат различно време на настъпване в зависимост от естеството си. Докато един ураган може да се прогнозира няколко дни преди да върхлети сушата, други видове бури и атмосферни явления е възможно да имат за оповестяване от едва няколко часа. В общия случай земетресенията не могат да се предвидят предварително. Въпреки това, ако епицентърът е достатъчно далечен от промишленото съоръжение, операторите е възможно да имат кратък предупредителен срок (обикновено секунди, понякога повече от една минута) за реагиране, преди обектът да бъде върхлетян от ударните вълни на земетресението. Процедурите могат да са ефективни в избягването или ограничаването на Natech аварии, ако се предприемат навременни действия.

За всяка природна опасност трябва ясно да се определят условията, при които следва да се активират аварийните процедури (напр. когато река в близост придойде над критичен прах, когато бъде обявено предупреждение за ураган). Следва да се отбележи, че при различни условия е възможно да се активират различни действия. В списъка по-долу са посочени някои от най-актуалните и ефективни действия, които могат да се предприемат като подготовка за въздействие от природна опасност:

Аварийно спиране: Операторът оценява необходимостта от спиране на съоръженията. Ако процесите са спрени при настъпване на природна опасност, вероятността да настъпят Natech аварии е по-малка.

Оставащ персонал: Извеждането на целия ненужен персонал от обекта преди настъпване на природна опасност спомага за намаляване на потенциалната загуба на живот, свързана с Natech събития. Това включва по-специално всички външни изпълнители. Операторът следва да определи оставащия персонал с минимално количество служители, необходими за подsigуряване на обекта и изпълняване на аварийни процедури. Тъй като някои природни опасности е възможно да продължават с дни, операторите следва да организират работното натоварване на смени, за да осигурят ротацията на оставащия персонал и да гарантират, че необходимите дейности за реагиране няма да се прекъсват по време на извънредна ситуация.

Подsigуряване на плаващи предмети: Аварии могат да се предизвикат от предмети, плаващи върху водите при наводнение и удрящи ключови съоръжения. Това може да се предотврати, като се подsigурят плаващите предмети, напр. с ремъци, или като се премахнат от обекта в случай на наводнение.

Подsigуряване на оборудване: Лекото оборудване е уязвимо за издигащата сила, прилагана от наводнения. Някои видове оборудване могат да се закрепят с болтове към земята. Празните резервоари могат да се пълнят с вода, за да се увеличи тяхната устойчивост на изплаване поради наводнение.

Прилагане на временни защити срещу природни опасности: Някои предприятия могат да се предпазят от въздействието на природна опасност, като се приложат защити, които ограничават въздействието на природната опасност в защитената област (напр. поставяне на преносими диги, барикадиране на прозорци с шперплат, запечатване на вратите на помещения с електрическо оборудване).

Комуникация с органите: Органите, отговорни за външните аварийни планове, следва да се предупреждават, когато предстои да настъпи природно явление или вече се случва, а операторът подозира, че е възможно да възникне Natech авария.

Обучение: Гарантиране, че служителите са осведомени за природните опасности на обекта и че са обучени по подходящ начин по процедури за справяне с въздействията им.

Мониторинг на природните опасности: Операторът следи информацията и развитието на природните опасности в своята област. Тези с атмосферен произход, като бури, сняг и изключителни температури, могат да се наблюдават лесно чрез услуги за прогнозиране на времето и след ранно предупреждение от местните служби за гражданска защита. Аналогично органите, които вече наблюдават природни опасности чрез специализирани агенции, следва да проявяват инициатива за своевременно предупреждаване на обекти с потенциал за големи аварии относно наближаващи природни опасности, за да дадат възможност на операторите да предприемат ефективни превантивни мерки за подготовка.

5.1.2.2 След събитието

Дори ако една природна опасност не е предизвикала незабавно Natech авария, промишлените обекти следва да са особено внимателни след преминаването на въздействието и при възобновяване на нормалната работа. Природните бедствия е възможно да оставят след себе си повредено оборудване, замърсявания, които трябва да се почистят, и неизправности, които е възможно да са останали незабелязани. В допълнение при такива условия персоналят обикновено е под по-голям стрес и е разсеян. Стартирането на мащабни промишлени процеси е опасна фаза само по себе си, а още повече след въздействието на природна опасност. Реалистично е част от вредите, причинени от явлението, да не са забележими веднага или условията да не са безопасни за повторно стартиране (напр. напоено с вода оборудване). Затова е изключително важно процедурите за стартиране да включват действия, които отчитат възможни предходни щети в резултат от природна опасност, като (USCSB, 2005; CCPS, 2019):

- Преглед на повреденото оборудване и инструменти за откриване на скрити неизправности преди стартиране;
- Обезопасяване на всички блокове и възстановяване на всички системи за сигурност, които са били изключени;
- Завършване на необходимите дейности по ремонт, обслужване и почистване, включително премахване на отломки и остатъци, възникнали в резултат на повреди или донесени на обекта от природното събитие;
- Ефективно управление на работната ръка и по-специално изчакване за стартирането, докато целият основен персонал, който е понесъл вреди, наранявания или загуби (включително осигуряване на грижи за техните жилища и роднини), се възстанови или бъде заменен (включително обучение на новия персонал);
- Гарантиране, че обектът разполага с всички необходими консумативи, тъй като е възможен недостиг на строителни материали след бедствие;
- Необходимо е обекти или съоръжения, които са понесли значителни повреди, да бъдат въведени в експлоатация повторно.

5.2 Проектиране и модернизиране на оборудването

Рискът може да се намали, като се увеличи устойчивостта на съоръженията и се предотвратят щетите от природни опасности. Критичните процеси и складовите помещения следва да се проектират така, че да са устойчиви на въздействието на природни опасности. **Наличните единици оборудване, които е възможно да са повредени от природни опасности, причинявайки значителен риск от Natech, следва да се модернизират, за да се подобри способността им да оцеляват при природни явления** (напр. монтиране на гъвкави връзки тръба-резервоар-помпа, закотвяне на оборудването, повдигнати опори, водоустойчив навес за електрическо оборудване). На Фигура 13 и Фигура 14 са показани примери за прилагане на стратегии за модернизиране.

Когато рискът от Natech е анализиран и оценен като неприемлив въпреки проектирането на блоковете според най-актуалните стандарти, следва да се променят критериите, използвани за проектиране на оборудването. Това може да се направи например като се промени начинът, по който проектантите подбират стойностите за „граничните състояния“, използвани при проектирането на оборудването (вж. Раздел 4.3), като вземат под внимание резултатите от предходна оценка на рисковете от Natech. Определянето на по-високи стойности на граничните състояния означава, че блокът може да оцеее при природни опасности с по-висока интензивност от преди и че неизправностите ще са по-редки. Стойностите на граничните състояния биха могли да се избират например с помощта на подход въз основа на риска, който отчита резултатите от оценката на рисковете от Natech и който гарантира, че рискът от Natech аварии остава под определено целево равнище.

Фигура 13. Допълнителни скоби за подсилване на опорните крака на сферичен резервоар за съхранение срещу земетресения.



Снимка: E. Krausmann

Фигура 14. Монтиране на гъвкава стоманена тръба на голям нефтен резервоар, за да се позволи изместване на резервоара и тръбата.



Снимка: A.M. Cruz

5.3 Предпазни бариери и спомагателни системи

Същите съображения важат за предпазните бариери и спомагателните системи, които са от ключово значение за предотвратяване на Natech аварии или ограничаване на последствията. **Тези предпазни бариери и спомагателни системи следва да се проектират така, че да издържат на конкретната природна опасност, която предизвиква Natech.** Важно е да се определят и оценят ключовите системи. Следва да се отдава приоритет на системите, които са засегнати от аварийните сценарии с най-голям принос към риска от Natech. Надеждността на предпазните бариери и спомагателните системи по отношение на въздействието на природна опасност може да се подобри по различни начини, като:

Проектиране на системата: Системите могат да се проектират да са устойчиви на въздействието на природна опасност. Целта на проектирането следва да е системата като цяло да не загуби своята функция по време на въздействие на природна опасност. Например, една противопожарна система в земетръсна зона следва да е проектирана така, че да функционира надеждно дори по време на силно земетресение.

Модернизиране: Когато не са проектирани специално за една природна опасност, системите могат да се модернизират, за да работят по-добре, когато бъдат върхлетени от природна опасност.

Резервиране: Системите могат да станат по-надеждни с помощта на резервиране. Резервирането може да се съдържа в системата за най-важните ѝ части или цялата система може да е резервирана. За да се предотвратяват ефективно Natech аварии **резервните системи следва да не отказват при едни и същи условия на природни опасности**, което обаче не е лесно за постигане при обекти с множество опасности. Например в една система с две резервни помпи едната може да се монтира върху издигната опора далеч от опасността от наводняване, докато другата може да е поставена на равнището на земята със здрава основа, която е по-подходяща в случай на земетресения.

Ограничаване на въздействието на природна опасност: Помощните системи и предпазните прегради могат да се защитават от ефекта на природните опасности по подобен начин на разглеждания за основните единици оборудване (Раздел 5.1).

5.4 Аварийно планиране и реагиране на Natech аварии

Аварийните планове за Natech аварии могат да включват определени действия, свързани с характеристиките на Natech аварията, които е важно да се вземат под внимание, за да бъде реагирането ефективно. Някои от стратегиите, използвани при реагиране на други видове технологични аварии, е възможно да не са ефективни или подходящи при въздействие на природна опасност, което означава, че Natech аварията се нуждае от целево аварийно планиране. По-специално операторите следва да гарантират, че приложените мерки за предотвратяване и ограничаване на аварии ще са ефективни дори при условия на природни опасности, напр. по време на земетресения, наводнения, силни валежи, силни ветрове или екстремални температури. Когато това не е възможно, **мерките, които не са ефективни при аварийна ситуация, следва да се считат за недостъпни, а аварийните планове не следва да разчитат на такива мерки.**

Тъй като множество природни опасности имат потенциала да прекъсват комунални услуги, като електрическата мрежа или местния водопровод, самостоятелните комунални услуги на равнището на обекта (напр. електрогенератори, водни мрежи и резервоари на обекта) следва да останат достъпни след възникване на въздействие от природна опасност. Поради тази причина **опасните обекти в области с природни опасности следва да разполагат с резервни комунални услуги и достатъчно аварийни ресурси, за да се поддържа работата, докато услугите извън обекта не станат отново достъпни или докато всички съоръжения не бъдат спрени по безопасен начин.** В аварийните планове следва ясно да се посочва кои комунални услуги могат да останат достъпни. Ако не може да се осигури продължаването на работата им, аварийният план не следва да разчита на нея. Съответно **аварийните планове следва да съдържат стратегии за реагиране, които да се прилагат, когато и основните, и резервните комунални услуги са недостъпни.**

Операторът следва да оценява момента във времето на въздействието на природна опасност и да го сравнява с момента във времето на аварийните процедури, въведени на обекта, за да **адресира потенциални времеви празнини между момента, в който е необходима аварийна мярка, и момента, когато тя може да е достъпна.** Това следва да включва потенциални източници на забавяне, произтичащи от самото природно явление. Например основните комуникационни мрежи (напр. телефонни линии, интернет, SMS) е възможно да бъдат нарушени при природно явление. Това може да доведе до забавяния при свързването с местните органи за задействане на външните аварийни планове. В допълнение **природните опасности е възможно да възпрепятстват достъпа до обекта** (напр. разрушени, наводнени или преградени с отломки пътища), **което да забави намесата на външни лица от службите за реагиране.**

Персоналът на предприятието/съоръжението и лицата от службите за реагиране следва да са защитени, както от въздействието на природната опасност, така и от ефектите на Natech аварии, като използват специални лични предпазни средства (ЛПС). В допълнение операторите следва да разгледат възможността от закупуване на **специално аварийно оборудване за по-добро реагиране на големи аварии (както Natech, така и други) при изключителни условия (напр. бури, земетресения, наводнения).** Този вид оборудване следва да се избира внимателно, за да се осигури ефективността и безопасността на лицата, оказващи помощ, вземайки под внимание реалните опасности на обекта (напр. спасителни жилетки и лодки в случай на наводнения или цунами; трактори и машини за премахване на отломки при земетресения или бури).

Когато е идентифицирана природна опасност, която има потенциала да прекъсне пътищата за снабдяване, операторът следва вече да разполага с алтернативни средства за комуникация с органите при възникване на голяма авария. Например операторите могат да използват преносими радиостанции с автономен източник на захранване и следва да има отворен резервиран директен радиоканал за връзка с органите при всякакви обстоятелства.

Самият персонал на предприятието/съоръжението може да пострада от ефектите на природните бедствия. В допълнение продължителността на аварийната ситуация е възможно да продължава с часове или дни, което да налага допълнително изтощение на персонала, който е възможно да се налага да работи няколко смени подред. Следователно подготовката трябва да има за цел да обучава персонала да реагира ефективно на природни бедствия, с което се увеличават максимално шансовете му за оцеляване и се дава възможност да се присъединят към дейностите за реагиране срещу Natech аварии. **Обаче аварийните планове следва също да отчитат отсъствието на персонал на обекта** (напр. поради природното бедствие, паника или евакуация) **и да определят подходяща замяна на изгубената работна сила при природното бедствие** (Krausmann и Salzano, 2017 г.). Плановите следва да включват процедури за гарантиране на постоянна смяна на нови лица, оказващи помощ.

5.5 Извличане на поука от минали аварии на Natech

Анализът на аварията е важен инструмент, в който информацията относно причините, динамиката и последствията от аварии в миналото, включително всички обстоятелства, допринесли за възникването им, се използва за предотвратяване или по-добро ограничаване на такива аварии в бъдеще. Една от причините аварии да продължават да възникват е това, че уроците от изминали събития не са научени или са пренебрегнати (Krausmann и Necci, 2021 г.).

Анализите на аварията осигуряват сведения за най-разпространените повреди на оборудването и начините на повреждане след въздействие от природна опасност, пътищата за изпускане на опасни химикали и последствията им или видовете оборудване за обработка и съхранение, които са особено уязвими. Например задълбочени изследвания на набор от налични данни за Natech аварии показват, че резервоарите за съхранение при обичайни условия (и особено тези с плаващи покриви) са особено уязвими за въздействието на земетресения, наводнения и мъгливи. Отделните хронологии сочат и към висока

податливост на повреда от силни валежи и вятър. Тези изследвания сочат също, че по време на Natech аварии вероятността от запалване е по-висока по време на аварии, причинени от човешка или техническа грешка (Krausmann et al., 2017 г.). Аналогично анализът на аварииите позволява да се идентифицират допълнителните фактори, които е възможно да са довели до самата авария или да са причинили влошаване на последствията ѝ (напр. Necci et al., 2018b).

Ученето на уроци изисква системно събиране и анализ на данни за аварии в миналото, включително потенциални аварии. **Операторите следва да събират подробна информация относно Natech аварииите в миналото, да ги съхраняват в интерактивна база данни, която позволява извършване на запитвания, и да анализират внимателно наборите от данни, за да се могат да изготвят актуализирани сценарии и да проектират подходящи мерки за понижаване на риска.** Анализът на една авария осигурява незабавни уроци за конкретното събитие; обаче той е възможно да пропуска каузални модели, които не се разпознават лесно в рамките на една авария. Анализът на набор от аварии от по-общ набор от данни осигурява уроци, които са по-широко приложими (Krausmann et al., 2017 г.). Това може например да спомогне за идентифицирането на организационни слабости, които са системни и изискват подобрения, или причини, свързани с определени видове вещества или промишлени дейности.

Общи данни за аварии могат също да се извличат от бази данни за промишлени аварии, но качеството на данните за Natech аварии не е равномерно и често липсват необходимите подробности (напр. информация за природна опасност, височина на наводнението, скорост на вятъра, интензивност на земетресението на местоположението на опасното предприятие/съоръжение или обект). Това затруднява възстановяването на динамиката на Natech събитието. В подкрепа на събирането и анализа на данни за Natech Съвместният изследователски център е разработил специална база данни за Natech инциденти (eNATECH⁵), която отразява усъвършенстваното представяне на аварииите, необходимо за фиксиране на характеристиките на Natech събития (напр. множество последователности от аварии, възникващи успоредно или последователно).

⁵ eNATECH се предлага безплатно на адрес <https://enatech.jrc.ec.europa.eu>

Списък с източници

- Antonioni, G., Spadoni, G., Cozzani, V. (2007) A methodology for the quantitative risk assessment of major accidents triggered by seismic events *Journal of Hazardous Materials*, 147, pp. 48-59.
- Antonioni, G., Bonvicini, S., Spadoni, G., Cozzani, V. (2009) Development of a frame work for the risk assessment of Na-Tech accidental events *Reliability Engineering & System Safety*, 94, pp. 1442-1450.
- BARPI (2013) Overview of the industrial accidents caused by the great Tohoku Earthquake and tsunami, Bureau for analysis of industrial risks and pollution, Ministry of Ecology, Sustainable Development and Energy, France. https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files_mf/Overview_japan_mars_2013_GB.pdf
- CCPS (2000) Guidelines for chemical process quantitative risk analysis, 2nd ed., Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York.
- CCPS (2019) CCPS Monograph: Assessment of and planning for natural hazards, Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York.
- Chang, J.I., Lin, C.-C. (2006) A study of storage tank accidents, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 19, pp. 51-59.
- Cooper, T.W. (1997) A study of the performance of petroleum storage tanks during earthquakes, 1933-1995, NIST GCR 97-720, NIST, US National Institute of Standards and Technology.
- Cox, T. (1998) Risk integration and decision-making, In: Kirchsteiger, C., Christou, M.D., Papadakis, G.A. (eds.) *Risk assessment and management in the context of the Seveso II Directive*, Elsevier, Amsterdam.
- Cozzani, V., Gubinelli, G., Antonioni, G., Spadoni, G., Zanelli, S. (2005) The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis, *Journal of Hazardous Materials*, 127(1-3), pp. 14-30.
- DSB (2022) Veiledning om vurdering av naturfarer som kan gi risiko for kjemikalieulykker (Natech), Norwegian Directorate for Civil Protection, *in preparation* (in Norwegian).
- Eidinger, J. M., Avila, E. A., Ballantyne, D., Cheng, L., der Kiureghian, A., Maison, B. F., O'Rourke, T. D., Power, M. (2001) Seismic fragility formulation for water systems, American Lifelines Alliance (ALA), USA.
- FEMA (2015) Multi-hazard Loss Estimation Methodology: Earthquake Model, Hazus®-MH 2.1: Technical Manual, Federal Emergency Management Agency, US Department of Homeland Security, USA.
- Fernandes, R., Necci, A., Krausmann, E. (2022) Model(s) for the dispersion of hazardous materials in floodwaters for RAPID-N, EUR 30968 EN, European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-46707-6, doi:10.2760/849778, JRC127375.
- Girgin, S. (2011) The natech events during the 17 August 1999 Kocaeli earthquake: aftermath and lessons learned, *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 11(4), pp. 1129-1140. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-1129-2011>.
- Girgin, S., Necci, A. (2018) Introduction to RAPID-N for Natech Risk Analysis and Mapping: A Beginner's Guide, EUR 29511 EN, European Commission, ISBN 978-92-79-98277-4, doi:10.2760/78743, JRC114363.
- Godoy, L.A. (2007) Performance of Storage Tanks in Oil Facilities Damaged by Hurricanes Katrina and Rita. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol. 21, No. 6, pp. 441-449.
- INERIS (2014) Référentiel méthodologique concernant la maîtrise du risque inondation dans les installations classées, INERIS-DRA-14-141515-03596A, National Institute for Industrial Environment and Risks, France (in French).
- Krausmann, E., Necci, A. (2021) Thinking the unthinkable: A perspective on Natech risks and Black Swans, *Safety Science*, 139, 105255.
- Krausmann, E. (2017) Natech risk and its management, In: Krausmann, E., Cruz, A.M., Salzano, E. (Eds.) *Natech risk assessment and management*, Elsevier, Amsterdam, pp. 105-118.
- Krausmann, E., Cruz, A.M., Salzano, E. (2017) Natech risk assessment and management – Reducing the risk of natural hazard impact on hazardous installations, Elsevier, Amsterdam.

Krausmann, E., Salzano, E. (2017). Lessons Learned From Natech events, In: Krausmann, E., Cruz, A.M., Salzano, E. (Eds.) Natech risk assessment and management, Elsevier, Amsterdam, pp. 33-52.

Krausmann, E., Baranzini, D. (2012) Natech risk reduction in the European Union, *Journal of Risk Research*, 15(8), pp. 1027-1047, DOI: 10.1080/13669877.2012.666761.

Landucci, G., Antonioni, G., Tugnoli, A., Cozzani, V. (2012) Release of hazardous materials in flood events: Damage model for atmospheric storage tanks, *Reliability Engineering & System Safety* 106, pp. 200-216.

Mannan, S. (2005) *Lees' Loss Prevention in the Process Industries*, Third edition, Elsevier, UK.

Misuri, A., Landucci, G., Cozzani, V. (2021) Assessment of safety barrier performance in the mitigation of domino scenarios caused by Natech events, *Reliability Engineering & System Safety*, 205, 107278.

Misuri, A., Cozzani, V. (2021) A paradigm shift in the assessment of Natech scenarios in chemical and process facilities. *Process Safety and Environmental Protection*, 152, pp. 338-351.

Necci, A., Girgin, S., Krausmann, E. (2018a) Understanding Natech Risk Due to Storms – Lessons learned and recommendations, EUR 29507 EN, European Union.

Necci, A., Krausmann, E., Girgin, S. (2018b) Emergency planning and response for Natech accidents, In: Towards an all-hazards approach to emergency preparedness and response: Lessons learnt from non-nuclear events, NEA, OECD Publishing, Paris.

OECD (2015) Addendum No. 2 to the OECD Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response (2nd ed.) to address natural hazards triggering technological accidents (Natechs), ENV/JM/MONO(2015)1, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.

Rendiers G., Cozzani, V. (2013) *Domino Effects in the Process Industries - Modelling, Prevention and Managing*, Elsevier, UK.

Salzano, E., Iervolino, I., Fabbrocino, G. (2003) Seismic risk of atmospheric storage tanks in the framework of quantitative risk analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 16, pp. 403-409.

Sklet S. (2005) *Safety Barriers on Oil and Gas Platforms - Means to Prevent Hydrocarbon Releases*, Doctoral Thesis, NTNU.

Steinberg, L.J., Sengul, H., Cruz, A.M. (2008) Natech risk and management: an assessment of the state of the art, *Natural Hazards* 46 (2), pp. 143-152.

TNO (1992) *Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials (Green Book)*, CPR 16E, Committee for the Prevention of Disasters, The Netherlands.

TRAS 310 (2022) *Technische Regel für Anlagensicherheit: Niederschläge und Hochwasser (Technical Rule for Process Safety: Precipitation and Floods)* (under revision), Commission on Process Safety (KAS), Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection, Germany (in German). <https://www.kas-bmu.de/tras-endqueltige-version.html>

TRAS 320 (2022) *Technische Regel für Anlagensicherheit: Wind, Schnee- und Eislasten (Technical Rule for Process Safety: Wind, Snow- and Iceload)*, in print, Commission on Process Safety (KAS), Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety, Germany (in German). <https://www.kas-bmu.de/tras-endqueltige-version.html>

Uijt de Haag, P.A.M., Ale, B.J.M. (2005) *Guidelines for quantitative risk assessment (Purple book)*, CPR 18E, VROM, The Netherlands.

UNI (2021) *Linee guida per la gestione di eventi NaTech nell'ambito degli stabilimenti con pericolo di incidente rilevante - Parte 1: Requisiti generali e sisma*, UNI/TS 11816-1:2021, Ente Italiano di Normazione (in Italian).

USCSB (2005) *After Katrina: Precautions Needed During Oil and Chemical Facility Startup*, Safety Bulletin No. 2005-01-S, U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. <https://www.csb.gov/after-katrina-special-precautions-needed-during-oil-and-chemical-facility-startup/>

van den Bosch, C.J.H., Weterings, R.A.P.M. (eds.) (2005) *Methods for the calculation of physical effects – Due to releases of hazardous materials (liquids and gases) (Yellow book)*, CPR 14E, 2nd ed., VROM, The Netherlands.

Списък на съкращенията и определенията

Критично събитие	Вж. <i>Събитие от най-висок клас</i>
Набор от фактори	Набор от основни събития, т.е. базови или неразвити откази, които предизвикват събитието от най-висок клас.
Разстояние на щетите	Максималното разстояние, на което една авария може да предизвика определено неблагоприятно въздействие (напр. наранявания).
Ефект на доминото	Процес на предаването на промишлена авария от един обект (или предприятие/съоръжение) към друг, който води до увеличаване на последиците от аварията.
Оборудване	Машини, компоненти и системи, необходими за един промишлен процес. Примери за обработващо оборудване, използвани в обработващия сектор, са помпи, клапани, съдове, филтри, охладители, топлообменници, колони и тръбопроводи.
Предприятие	Целият обект под контрола на оператор, където присъстват опасни вещества в една или повече инсталации, включително общи или свързани инфраструктури или дейности; учрежденията са или такива от по-ниско ниво, или от по-високо ниво. Този термин се използва в контекста на директивата „Севезо“. За целите на тези насоки ние използваме термина <i>(промишлен) обект</i> или <i>(промишлено) съоръжение</i> .
Анализ на дървото на събитията	Техника за моделиране, която идентифицира възможните изходи и, ако е необходимо, тяхната вероятност, след инициращо събитие. Използва се за определяне на поредицата от събития, водещи до определени последици, като се приема, че всяко събитие в последователността е или успешно, или неуспешно.
Анализ на дървото на отказите	Метод за анализ в посока от горе надолу, при който се анализира нежелано състояние на система с помощта на графично представяне на комбинацията от откази и булева логика. Този метод за анализ има за цел да се постигне разбиране за това как отказват системите чрез обратно инженерство на основните причини на отказа.
FMEA	Анализ на вида и последствията от отказите. Процес на преглед на възможно най-много компоненти, възли и подсистеми за идентифициране на потенциални начини на повреждане в една система и техните причини и следствия. FMEA често е първата стъпка в проучването на надеждността на една система.
FMECA	Анализ на критичността на даден отказ. Метод за анализ, който включва количествен анализ на отказа. FMECA е разширение на FMEA, което включва анализ на критичността за проследяване на вероятността на начин на повреждане спрямо тежестта на последствията.
Опасност	Състояние, събитие или обстоятелство, което би могло да доведе до или да допринесе за непланирано или нежелано събитие. Присъщото свойство на опасен химикал или физическа ситуация, с потенциал да причинява щети на човешкото здраве или на околната среда.
Карта на опасностите	Карта, която откроява областите, засегнати от или уязвими за определена опасност. Обикновено се създава за природни опасности, като земетресения, вулкани, свлачища, наводнения и цунами.
Опасен химикал	Опасно вещество или смес, което представлява заплаха за човешкото здраве и околната среда. Опасните химикали са токсични, корозивни, запалими, експлозивни или химично реактивни. Този термин е еквивалентен на <i>опасно вещество</i> , използван в рамките на директивата „Севезо“.
HAZOP	Проучване на опасностите и функционалността. Качествена техника за анализ на опасностите на процеса, която се състои от структуриран и системен преглед на един промишлен процес с цел идентифициране на опасностите и оценяване на проблемите, които е възможно да представляват рискове. Сложният процес се разделя на редица по-прости раздели, наречени „възли“, които след това се преглеждат индивидуално с помощта на стандартизирани водещи думи.
Съоръжение	Техническа единица в рамките на предприятие на или под земната повърхност, в която се произвеждат, използват, обработват или съхраняват опасни вещества; включва цялото оборудване, конструкции, тръбопроводи, машини, инструменти, частни резервни железопътни коловози, докове, кейове за разтоварване, обслужващи предприятието/съоръжението, вълноломи, складове или подобни конструкции, плаващи или не, необходими за работата на предприятието/съоръжението. Този термин се използва в контекста на директивата „Севезо“.
LOC	Загуба на съдържимо на опасно вещество.

Голяма авария	Събитие, като мащабни емисии, пожар или експлозия в резултат от неконтролирани развития в хода на дейността на всяко предприятие, водещо до сериозна опасност за човешкото здраве или за околната среда, незабавна или отложена, във или извън предприятието и засягащо едно или повече опасни вещества.
МАРР	Политика за предотвратяване на големи аварии. Определя цялостния подход на оператора и мерките, включително подходящи системи за управление на безопасността за контролиране на опасностите от големи аварии. Този термин се използва в контекста на директивата „Севезо“.
Минимален набор от фактори	Набор от фактори, който не съдържа в себе си друг набор от фактори
Natech	Технологична авария, предизвикана от природна опасност
Природна опасност	Природен процес или явление, включително геоложко, хидрологично, климатично и метеорологично, което, поради своето местоположение, тежест и честота е възможно да има неблагоприятно въздействие върху човешкото здраве, природната и изградената среда и икономиката.
Оператор	Всяко частно или юридическо лице, което управлява или контролира предприятие или предприятие/съоръжение, когато това е предвидено от националното законодателство, на което са делегирани решаващите икономически пълномощия или тези за вземане на решения относно техническото функциониране на предприятието/съоръжението.
Обработващ блок	Единица, която извършва операции, предполагащи физически изменения или химично преобразуване, като разделяне, кристализиране, изпаряване, филтрация, реакции и др. Тези операции се свързват за създаването на цялостния процес.
Надеждност	Способността на една единица да изпълнява необходимата функция при посочените условия за посочен период от време.
Риск	Вероятността от възникване на конкретен ефект в рамките на определен период или при определени обстоятелства.
Доклад за безопасност	Докладът за безопасност следва да съдържа подробности за предприятието, наличните опасни вещества, съоръженията или складовите съоръжения, възможните сценарии за големи аварии и анализа на риска, мерките за предотвратяване и намеса и наличните системи за управление за предотвратяване или понижаване на риска от големи аварии и за позволяване на предприемане на необходимите стъпки за ограничаване на последствията им. Терминът „доклад за безопасност“ е еквивалентен на <i>обосновка на безопасност</i> извън ЕС или в промишлени сектори, различни от тези, които попадат в рамките на Директивата „Севезо“.
Сценарий	Прогноза за възможно бъдещо събитие. Сценариите се използват за разглеждане на възможни алтернативни изходи.
Обект	Вж. <i>предприятие</i> .
SMS (СУМБ)	Система за управление на безопасността. СУМБ осигурява системен начин за идентифициране на опасности и осигуряване на гаранции за продължаващата ефективност на контролите. СУМБ следва да е системна, цялостна и интегрирана в другите процеси в рамките на съоръжението. Както всички системи за управление, СУМБ осигурява определяне на цели, планиране, измерване на ефективността и подкрепа за култура на непрекъснати подобрения.
Събитие от най-висок клас	Нежелано събитие, като опасна ситуация или отказ на оборудване. Обичайните събития от най-висок клас са изпускания на токсични вещества, пожари, експлозии и различни откази.
Анализ „Ами ако“	Анализът „Ами ако“ е структурирана техника за брейнсторминг, която има за цел да се определи какво би могло да се обърка в един сценарий. Екип създава въпроси от тип „Ами ако“ във връзка с всяка стъпка от процеса и всеки компонент, за да определи възможните източници на грешки и откази.

Списък на карета

Каре 1. Несигурност и липса на данни	10
Каре 2. Изменения на климата	13
Каре 3. Начини на повреждане и работни условия	21
Каре 4. Конструкции, проектирани да издържат на въздействие на природна опасност	22
Каре 5. Разпространени причини за неизправност	24
Каре 6. Пример: Проста прогноза на надеждността	34
Каре 7. Примери за дървета на събитията, засегнати от въздействие на природна опасност	34

Списък на фигурите

Фигура 1. Процес на управлението на риска.....	6
Фигура 2. Пример за карта на дълбочината на водата, свързана с наводнение със срок на повторение от 100 години.	12
Фигура 3. Пример за крива на опасността от земетресение, която показва вероятността от превишаване на върховото ускорение на земята на дадено местоположение.	12
Фигура 4. Щети от огъване, причинени от земетресение върху силози.....	15
Фигура 5. Разрушаване на тръба при фланцова връзка по време на земетресение.....	16
Фигура 6. Отделяне на обшивката от дъното на резервоар за съхранение при обичайни условия по време на ураган. Изолацията на резервоара също е отделена.....	17
Фигура 7. Повреда на опорни крака на сферичен резервоар за съхранение, причинена от земетресение.	17
Фигура 8. Повреда на неподвижен покрив на резервоар за съхранение при обичайни условия, причинена от силен вятър.....	18
Фигура 9. Изместване и повреда на резервоар за съхранение при атмосферни условия, причинено от ураган, включително изместване на тръба.....	19
Фигура 10. Преобърнат и повреден резервоар за съхранение при атмосферни условия поради бурия от ураган.	19
Фигура 11. Примери за трите подхода за определяне на сценарии на LOC на състояния на повреда.	28
Фигура 12. Пожар, който се разпространява по повърхността на водата, и разпръскване заедно с наводнение.	30
Фигура 13. Допълнителни скоби за подсилване на опорните крака на сферичен резервоар за съхранение срещу земетресения.....	38
Фигура 14. Монтиране на гъвкава стоманена тръба на голям нефтен резервоар, за да се позволи изместване на резервоара и тръбата.	39

Списък на таблиците

Таблица 1. Примерни критерии за определяне на класирането на елементи от критичното оборудване (Antonioni et al., 2009)	14
Таблица 2. Обичайни начини на повреждане, класифицирани по избрани активатори на природни опасности	20
Таблица 3. Обичайни начини на повреждане за избрано оборудване/съоръжения за обработка и съхранение.....	21
Таблица 4. Общи LOC за различни видове системи.....	26
Таблица 5. Примери за ефектите на въздействията от природни опасности, използвани за моделиране на последствията.....	30

ВРЪЗКА С ЕС

Лично

В целия Европейски съюз има стотици информационни центрове Europe Direct. Адреса на най-близкия до вас център можете да намерите на: https://europa.eu/european-union/contact_en

По телефона или по имейл

Europe Direct е услуга, която отговаря на вашите въпроси относно Европейския съюз. Можете да се свържете с тази служба:

- на безплатен телефон: 00 800 6 7 8 9 10 11 (някои оператори може да таксуват за тези обаждания)
- на следния стандартен телефонен номер: +32 22999696, или
- по електронна поща чрез: https://europa.eu/european-union/contact_en

НАМИРАНЕ НА ИНФОРМАЦИЯ ЗА ЕС

Онлайн

Информация за Европейския съюз на всички официални езици на ЕС е налична на уебсайта Europa на адрес: https://europa.eu/european-union/index_en

Публикации на ЕС

Можете да изтеглите или поръчате безплатни и платени публикации на ЕС от книжарницата на ЕС на адрес: <https://publications.europa.eu/en/publications>. Множество копия на безплатни публикации можете да получите, като се свържете с Europe Direct или с местния информационен център (вижте https://europa.eu/european-union/contact_en).

The European Commission's science and knowledge service

Joint Research Centre

JRC Mission

As the science and knowledge service of the European Commission, the Joint Research Centre's mission is to support EU policies with independent evidence throughout the whole policy cycle.



EU Science Hub
ec.europa.eu/jrc



@EU_ScienceHub



EU Science Hub - Joint Research Centre



EU Science, Research and Innovation



EU Science Hub