



European
Commission

JRC SCIENTIFIC AND POLICY REPORTS

Методологія оцінки ризиків для захисту критичної інфраструктури

Георгіос Джаннопулос

Богдан Дорняну

Олаф Йонкерен

2013

Цей текст є неофіційним перекладом документу, розміщеного на відкритому інформаційному ресурсі Департаменту національної безпеки Сполучених Штатів Америки (DHS), та може використовуватись лише з інформаційною та науковою метою.

Посилання на офіційний оригінал документа:

[file:///C:/Users/Work/Downloads/
lbna25745enn.pdf](file:///C:/Users/Work/Downloads/lbna25745enn.pdf)

Європейська Комісія
Спільний дослідницький центр
Інститут захисту та безпеки громадянина

Контактна інформація
Георгіос Джаннопулос
Адреса Об'єднаного дослідницького центру, Via Enrico Fermi 2749, TP
210, 21027 Ispra (VA), Italy E-mail:
georgios.giannopoulos@jrc.ec.europa.eu
Тел: +39 0332 78 6211
Факс: +39 0332 78 5469

<http://stanet.jrc.it/> <http://www.jrc.ec.europa.eu/>

Юридичне повідомлення
Ні Європейська Комісія, ні будь-яка особа, що діє від імені Комісії,
не несе відповідальності за використання цієї публікації.

Europe Direct - це служба, яка допоможе вам знайти відповіді на
ваші запитання про безкоштовний номер Європейського Союзу (*):
00 800 6 7 8 9 10 11
(*). Деякі оператори мобільного зв'язку не надають доступ до
номерів 00 800 або ці дзвінки можуть бути платними.

Багато додаткової інформації про Європейський Союз можна
знайти в Інтернеті. Доступ до неї можна отримати через сервер
Еуропа <http://europa.eu/>.

JRC78292 EUR 25745 EN

ISBN 978-92-79-28181-5

ISSN 1831-9424

doi:10.2788/78850

Люксембург: Видавничий офіс Європейського Союзу, 2013

© Європейський Союз, 2013

Передрук дозволено за умови посилання на джерело. Надруковано
в Італії

Зміст

Перелік рисунків.....	iv
Перелік таблиць.....	v
Номенклатура.....	ix
1 Методологія оцінки ризиків для захисту критичної інфраструктури	1
1.1 Вступ.....	1
1.2 ЕРСІР та оцінка ризиків	2
1.3 Системи систем та оцінка ризиків	3
1.4 Пропозиція щодо концепції оцінки ризиків для мережевої критичної інфраструктури.....	5
2 Ієрархічне технологічне моделювання для оцінки ризиків мережевої критичної інфраструктури	9
2.1 Вступ.....	9
2.2 Системний інженерний підхід до моделювання взаємозалежних критичних інфраструктур	
10	

2.3	Агрегація об'єктів та критичної інфраструктури.....	11
2.3.1	Системи критичної інфраструктури та моделювання взаємозалежностей 12	
2.3.2	Імплементация технологічної моделі.....	14
2.3.3	Виділення топології систем інфраструктур	14
2.4	Побудова моделі в Simulink	17
2.5	Доказ концепції спрощеної Системи систем.....	19
2.6	Висновки та подальша робота.....	23
3 Економічне моделювання порушення роботи критичної інфраструктури		27
3.1	Вступ.....	27
3.1.1	ІМ.....	28
3.1.2	ІМ та оцінка ризиків.....	32
3.1.3	ІМ та стійкість: ДІМ.....	32
3.1.4	Дані, необхідні для моделі вводу-виводу	36
3.1.5	Аналіз на регіональному рівні	38
3.2	Висновки та подальша робота	39
	Джерела.....	43

Перелік рисунків

1.1	Структури EPCIP	2
1.2	Схематичне зображення методології оцінки ризиків	6
2.1	Представлення методології на технологічному рівні для оцінки порушення роботи критичної інфраструктури	11
2.2	Мережеве представлення системи критичної інфраструктури	12
2.3	Представлення а) топології мережі; б) функціональних залежностей в мережі критичної інфраструктури	15
2.4	а) Введення збурення та б) Реакція мережі	16
2.5	Модель SIMULINK залежного вузла а) Модель поведінки вузла б) Модель зв'язку (підсистема1 представлена на рисунку 2.5(a)) с) Код Matlab для перевірки порогу	21
2.6	SIMULINK модель безпосередньо ураженого вузла	21
2.7	а) Вилучення топології з мережі GIS; б) Введення збурення в мережу критичної інфраструктури; с) Поширення збою в мережі критичної інфраструктури; d) Часткове відновлення мережі критичної інфраструктури	22
2.8	SIMULINK модель мережі критичної інфраструктури	23
2.9	Результати моделювання SIMULINK-моделі мережі критичної інфраструктури: а) Збурення на безпосередньо постраждалому вузлі; реакція б) мережі, що залишилася; в) вузла 3; г) вузла 4; д) вузла 5; е) вузла 6 на відмову безпосередньо постраждалого вузла е) Звітність та візуалізація результатів	24
3.1	Аналіз ІІМ в процесі оцінки ризиків (Джерело: Crowther and Haines, 2005)	
3.2	Типи економічної стійкості	35
3.3	Різні фази після стихійного лиха	40

Перелік таблиць

3.1	Класифікація економічних наслідків	31
3.2	СІ та KRSC, що розглядаються в моделі.....	37

Номенклатура

δx	Економічні втрати
a_{ij}^{*s}	Непрацездатність в секторі i через повну непрацездатність в секторі j в регіоні s
A^*	Матриця взаємозалежностей
a_{ij}^*	Непрацездатність в секторі i через повну непрацездатність в секторі j на національному рівні
a_{ij}	Відношення вкладу сектору i до сектору j
B^*	Передача загальної непрацездатності
c^*	Вектор збурення з боку попиту
c_i	Кінцевий попит i -го сектору
f_i	Частота відмов вузла
i, j	Індикатори
K	Матриця стійкості сектору
k	Кількість з'єднань, які входять у вершину i
L_{ij}	З'єднання між вузлами i та j
lq_i^s	Частка попиту в секторі i в регіоні s , що задовольняється власними силами
$p_i(t)$	Непрацездатність виробництва

Risk Assessment for Critical Infrastructures

q	Вектор непрацездатності
r_i	Швидкість відновлення вузла i
t_f	Час відмови вузла i
th_i	Порогова швидкість вузла i
X_i	Стан залежного вузла i
x_i	Загальний обсяг виробництва в секторі i
$X_i(t)$	Рівень запасів
x_i^N	Загальний обсяг виробництва в усіх галузях в країні N
x_i^N	Загальний обсяг виробництва сектору i в країні N
x_i^s	Загальний обсяг виробництва всіх секторів у регіоні s
x_i^s	Загальний випуск продукції сектору i в регіоні s
$X_{i,k}$	Стан вершин, які з'єднані з вершиною i за допомогою посилення k
\hat{x}	Виробничий потенціал сектору i
CI	Критична інфраструктура
CIPS	Запобігання, готовність та управління наслідками тероризму та інших ризиків, пов'язаних з безпекою
ДИМ	Модель "вхід-вихід" динамічної непрацездатності
ERCIP	Європейська програма захисту критичної інфраструктури
GIS	Геопросторова інформаційна система
ІМ	Модель "вхід-вихід" непрацездатності

- IO** «Вхід-вихід»
- JRC** Спільний науково-дослідницький центр
- KRSC** Ланцюжок постачання ключових ресурсів
- MS** Країни-члени ЄС
- OSP** Плани безпеки оператора
- SE** Системна інженерія
- SoS** Система систем
- WIOD** Всесвітня база даних введення-виведення

Розділ 1

Методологія оцінки ризиків для захисту критичної інфраструктури

1.1 Вступ

Директива ЄС 114/08/ЄС ([1]) визначає поняття європейської критичної інфраструктури як "об'єкт, систему або її частину [...], яка має важливе значення для підтримки життєво важливих суспільних функцій, здоров'я, безпеки, економічного або соціального добробуту людей, і порушення якої матиме значний вплив [...] в результаті нездатності підтримувати ці функції". Критична інфраструктура поступово стала найбільш важливими технічними системами, що впливають на соціальне та економічне життя в усіх країнах. З роками вертикально інтегровані системи, що мали лише кілька точок зв'язку, перетворилися на складні горизонтально інтегровані системи з багатьма точками взаємодії у багатьох вимірах ([2]). Крім того, критична інфраструктура може бути зруйнована або порушена впливом стихійних лих, технічними збоями або навмисними терористичними актами. Занепокоєння щодо безпеки цих систем призвело до створення низки програм для їх захисту, таких як EPCIP.

Головною метою таких програм є підвищення рівня захисту, а останнім часом і стійкості критично важливих об'єктів інфраструктури до всіх загроз. Для досягнення цієї високої мети необхідно досягти кількох конкретних цілей, таких як виявлення вразливостей систем, взаємозалежностей та оцінка впливу. Розробка конкретних тематичних досліджень з метою перевірки методологій та інструментів на практиці, заходів для зменшення вразливостей та підвищення стійкості, встановлення найкращих практик - ось деякі з елементів, які зазвичай є частиною цих програм.

1.2 EPCIP та оцінка ризиків

Як згадувалося раніше, EPCIP має на меті покращити захист критичної інфраструктури в Європі від усіх загроз. Вона складається з шести компонентів (див. рис. 1.1), одним з яких є Директива EPCIP "Про ідентифікацію та призначення європейських об'єктів критичної інфраструктури та оцінку необхідності покращення їхнього захисту". Спеціальна програма "CIPS" є фінансовим інструментом EPCIP, за допомогою якого фінансуються дослідницькі проекти та діяльність Об'єднаного дослідницького центру. Об'єднаний дослідницький центр здійснив кілька дослідницьких проектів, а також підтримав імплементацію (наприклад, [3]) та процес перегляду Директиви EPCIP.

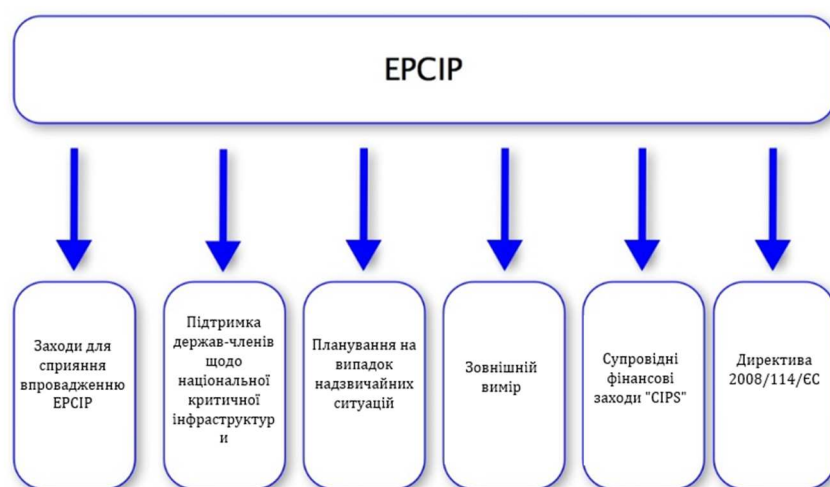


Рисунок 1.1: Структура EPCIP

У тексті Директиви оцінка ризиків може бути визначена як важливий елемент.

Вона згадується кілька разів для різних цілей: Як зобов'язання держав-членів звітувати про ризики, загрози та вразливості в конкретних секторах, а також як зобов'язання щодо оцінки ризиків у рамках OSP (Планів безпеки оператора, модель такого плану оператора можна знайти тут). Очевидно, що елементи методологій оцінки ризиків можуть бути ідентифіковані в OSP.

Методології оцінки ризиків, що застосовуються операторами, є чітко галузевими або навіть орієнтованими на конкретні об'єкти. Такі методики, як аналіз дерева несправностей [4], є яскравим прикладом такого підходу. Крім того, методології, що застосовуються операторами, не зазнали особливого впливу Директиви. Більшість операторів вже мають певні методології для підтримки своєї повсякденної діяльності. Однак не зрозуміло, чи можуть ці методології слугувати меті Директиви, а саме підвищенню рівня захисту критичної інфраструктури для зменшення впливу на економіку та суспільство.

JRC підтримував як на першому етапі застосування та імплементації Директиви, так і на етапі її перегляду. Під час цієї фази було відновлено дискусію щодо оцінки ризиків для КІ. JRC відреагував на цю потребу кількома способами, серед яких підготовка технічного звіту для перегляду існуючих методологій, виявлення прогалин та пропонування нових підходів. Більше інформації можна знайти в ([5]).

1.3 Системи систем та оцінка ризиків

Як згадувалося раніше, сучасні підходи до оцінки ризиків для КІ здебільшого ґрунтуються на галузевому підході та підході, що базується на об'єктах. Ми лише згадаємо тут роботу Соле та ін. [6] з моделювання фізичних мереж, а також роботу Трукко ([7]) з економіки. Для отримання додаткової інформації про методології оцінки ризиків зверніться до робіт [2], [8] та [9].

Роботи з оцінки ризиків для взаємопов'язаних інфраструктур або, іншими

словами, SoS (системи систем) є досить обмеженими. З цією метою Каркано та ін. і Еусгельд та ін. ([10], [11]), зосередили увагу на характері системи систем взаємопов'язаних об'єктів критичної інфраструктури ([12]). Дослідники переслідували два основні напрямки дослідження поведінки критичної інфраструктури ([2]):

- a) Вивчення, аналіз і розуміння поточного стану інфраструктури. На основі розуміння поточного стану, розуміння функціонування інфраструктури отримується за допомогою різних методів оцінки вразливостей, ризиків та/або загроз. Недоліком такого підходу є те, що він пропонує чітку картину лише для подій, які відбулися в минулому. Хоча багато з можливих причин невдач виявляються, не всі наслідки чітко сприймаються і розуміються.
- b) Розуміння динамічної поведінки інфраструктурних систем. У цьому підході досліджуються всі можливі шляхи і будь-які причини нестабільності. Недоліками цього методу є збільшення кількості шляхів, які необхідно розглянути, а також той факт, що багато збоїв мають маловірогідний характер з високим рівнем впливу.

Вищезгаданий якісний підхід дає лише уявлення про поведінку системи, але не дозволяє отримати відчутні результати. Для того, щоб виконати це завдання, виділяють два підходи ([2]):

- a) Імітація поведінки системи критичної інфраструктури за допомогою математичних моделей. Великою перевагою цього підходу є підвищена точність і достовірність моделей. Однак, зі зростанням складності системи, відповідне математичне представлення систем стає складним завданням, яке необхідно вирішити.
- b) Аналіз агрегованої поведінки менших взаємодіючих моделей. Поведінка набору об'єктів інфраструктури вивчається за допомогою багатоагентної системи, де кожен з агентів представляє інфраструктуру, інфраструктурну систему або об'єкт.

Коллективна поведінка всіх цих агентів в інтегрованому середовищі дозволяє аналізувати реакцію інфраструктурної системи на деструктивні події.

Ці підходи містять основні елементи, необхідні для побудови методологій оцінки ризиків для взаємозалежних об'єктів критичної інфраструктури. Беручи до уваги основні висновки огляду методологій оцінки ризиків [5], вдалося зібрати всі необхідні елементи для того, щоб перейти до комплексної методології, пам'ятаючи про те, що нам потрібно зробити ці методології більш адекватними для політиків, операторів і відповідних органів державної влади. Цього можна досягти на основі зменшення складності та впровадження більш високого рівня абстракції. Деталі запропонованої методології та її реалізації можна знайти в наступних параграфах.

1.4 Пропозиція щодо концепції оцінки ризиків для мережевої критичної інфраструктури

Запропонована тут методологія фокусується на впливі та каскадних ефектах руйнівної події без проведення детального аналізу кожного об'єкта інфраструктури. Це забезпечує певний рівень абстракції, який все ще є прийнятним для отримання достовірного уявлення про інфраструктуру та динаміку події, що розглядається. У попередній роботі, виконаній в JRC ([13]), було застосовано подібний системний підхід до порушення КІ та визначено три рівні аналізу: мікрорівень (зв'язки та вузли), мезорівень (мережа) та макрорівень (територія). Всі ці рівні охоплюються запропонованою методологією.

На Рисунку 1.2 ми надаємо схематичне зображення цього методу оцінки ризиків.

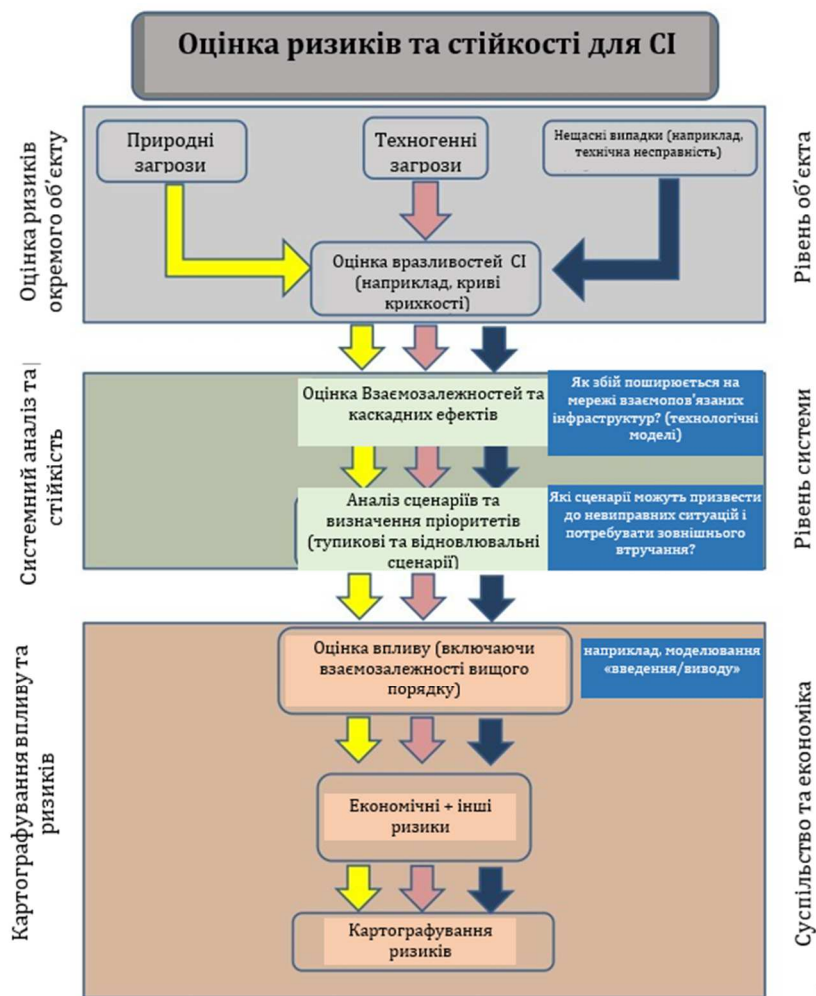


Рисунок 1.2: Схематичне зображення методології оцінки ризиків

Запропонована методологія починається з аналізу об'єкта (наприклад, електростанції), досліджує розповсюдження аварії на мережу критичної інфраструктури (наприклад, енергосистему), каскадний вплив на мережі взаємозалежних інфраструктур і, нарешті, оцінює загальний економічний збиток, спричинений цією аварією. У наступних розділах детально пояснюються елементи та моделі, які були розроблені для реалізації цього підходу.

Що стосується реалізації цієї методології, то ми вважаємо, що вона складається з двох основних компонентів: моделювання на технологічному рівні та моделювання на економічному рівні.

На думку авторів, це перша спроба оцінити критичну інфраструктуру за допомогою комбінації технологічних та економічних моделей. Дотримуючись цієї термінології, було б адекватно розглядати критичну інфраструктуру як складні техніко-економічні системи. Крім того, ми вважаємо, що підхід до моделювання, який ми прийняли тут, спрощує обсяг даних, необхідних для проведення аналізу. Це буде більш детально пояснено в розділі, присвяченому технологічному моделюванню.

Важливим елементом цього підходу є зв'язок між оцінкою стійкості та оцінкою ризиків. Згідно з усталеною термінологією, оцінка ризиків - це функція ймовірності, вразливості та впливу подій. Коли мова йде про стійкість, необхідно мати інструменти, які можуть оцінити поведінку складних систем з точки зору поширення збоїв і відновлення. Очевидно, що це йде на крок далі порівняно зі звичайною оцінкою ризиків. Якщо ми розглядаємо оцінку ризиків як необхідну умову для створення бар'єрів ризику в активах критичної інфраструктури, яка може бути застосована і до великомасштабних систем шляхом введення елемента взаємозалежності, то парадигма стійкості необхідна для того, щоб оцінити динамічну поведінку і стабільність системи.

Методологія, яку ми представляємо тут, буде надалі вдосконалюватися і об'єднуватися з роботою над стійкістю, яка ведеться паралельно. Елементи цієї роботи можна знайти в [14] та [15]. На думку авторів, стійкість - це ширше поняття, яке охоплює набагато більше, ніж простий підхід до оцінки ризиків. Вона включає в себе всі заходи, які необхідно застосувати до критично важливих об'єктів інфраструктури, щоб переконатися, що вони здатні витримати шок, відскочити і відновитися у разі виникнення деструктивної події. Концепція стійкості може бути застосована до об'єктів критичної інфраструктури, мереж критичної інфраструктури і на ще більш високому рівні - до системи систем. Однак реальна додана вартість парадигми стійкості чітко проявляється, коли мова йде про мережі критичної інфраструктури. На цьому рівні тип і різноманітність загроз, каскадні ефекти і складність створення бар'єрів ризику для складних мереж вимагають іншого підходу. Підходу, який здебільшого базується на продовженні надання послуг і в меншій мірі на зменшенні ризиків.

Розділ 2

Ієрархічне технологічне моделювання для оцінки ризиків мережевої критичної інфраструктури

2.1 Вступ

У цьому розділі ми представляємо технологічне моделювання оцінки ризиків для мережевої критичної інфраструктури, яке фокусується на елементі взаємозалежностей. Існує багато методологій для оцінки критичної інфраструктури на рівні окремих об'єктів. Але коли справа доходить до мереж критичної інфраструктури, існує велика прогалина. У цьому розділі ми продемонструємо підхід до моделювання, який було застосовано для оцінки розповсюдження збоїв у критичній інфраструктурі, далі - у взаємозалежних об'єктах критичної інфраструктури. Таким чином, на цьому етапі ми розглядаємо внутрішньогалузеві та міжгалузеві взаємозалежності. Важливим параметром є те, що запропонована методологія враховує високий рівень абстракції з точки зору представлення інфраструктури. Чітке представлення мережевої інфраструктури на максимальному рівні деталізації виходить за рамки цієї методології через значну складність, вимоги до даних, а також доречність результатів для осіб, що визначають політику.

2.2 Системний інженерний підхід до моделювання взаємозалежних критичних інфраструктур

Представлена тут методологія має на меті оцінити вплив на критичну інфраструктуру на системному рівні. Ключовим припущенням є те, що порушення обслуговування відбувається для конкретного (або декількох) об'єкта (об'єктів) критичної інфраструктури, воно може каскадувати в межах об'єкта критичної інфраструктури, а потім поширюватися на залежні та взаємозалежні об'єкти критичної інфраструктури. Кінцевою метою є аналіз взаємозалежностей та економічних наслідків виходу з ладу інфраструктури.

Для цього модель системної інженерії підключається до ПМ (модель непрацездатності "вхід-вихід"). Компонент системної інженерії застосовується для аналізу деградації продуктивності, а потім відновлення порушеної системи. Далі оцінюються економічні втрати за допомогою компонента ПМ, який використовує інформацію, отриману з компонента SE моделі. Однак, динамічні явища, що відбуваються в складних системах, часто непрактично моделювати в строгий спосіб. Наприклад, електроенергетична система є великою, інтегрованою, взаємопов'язаною та складною, динамічною технічною інфраструктурою. Така система може піддаватися впливу різних фізичних явищ, починаючи від дуже швидких подій, таких як перехідні процеси внаслідок блискавки, до досить повільних, як, наприклад, у парогенераторах ([16]). Це неминуче означає, що такі системи потребують певного спрощення. Для того, щоб досягти цього, підхід до моделювання, запропонований у цьому звіті, зосереджується на взаємозалежностях всередині секторів та між секторами, іншими словами, на інтерфейсі між інфраструктурами та компонентами інфраструктур.

За допомогою цього підходу критична інфраструктура абстрактно моделюється як мережа вузлів, з'єднаних між собою зв'язками ([17], [18]). Ці компоненти моделювання більш детально розглядаються в наступних розділах. Загальне представлення технологічного підходу до моделювання показано на рисунку 2.1.

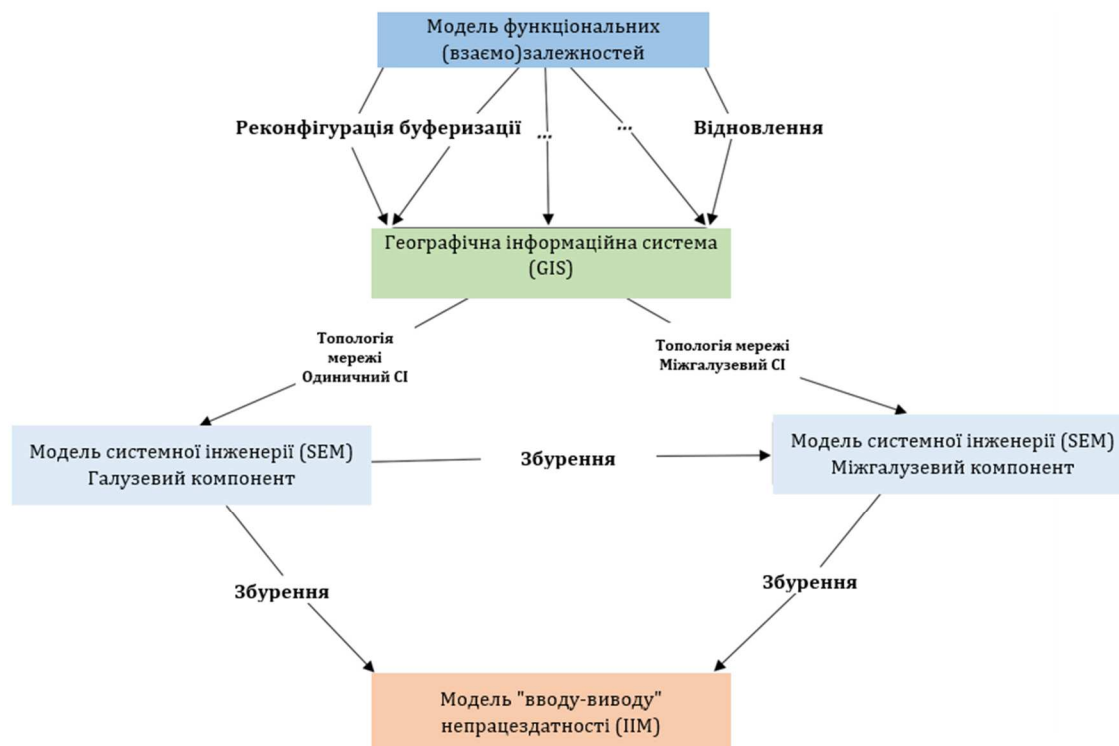


Рисунок 2.1: Представлення методології на технологічному рівні для оцінки порушення роботи критичної інфраструктури

2.3 Агрегація об'єктів та критичної інфраструктури

Вузли - це модельне представлення об'єктів критичної інфраструктури. Роль вузлів полягає у виробництві, зберіганні та/або перетворенні певного типу ресурсів, що характеризують критичну інфраструктуру. Вузли, зображені з суфіксами на Рисунку 2.2, можуть самі по собі бути підмережею з вузлами та зв'язками (L_{ij}) , де i - вихідний вузол, а j - кінцевий вузол. Залежно від обсягу та цілей процедури моделювання, можна дозволити собі різні рівні абстракції елементів мережі. Таким чином, моделювальник може вільно вирішувати, наскільки детально абстрагуватися від структури критичної інфраструктури, що моделюється.

Вузол може представляти об'єкт певної критичної інфраструктури, але також може представляти окрему критичну інфраструктуру у взаємопов'язаній системі критичної інфраструктури. Більше того, користувач може розглядати систему критичної інфраструктури цілої країни, регіону в межах однієї країни або навіть регіону, який складається з критичної інфраструктури на території кількох країн. Таким чином, допускаються різні рівні агрегації.

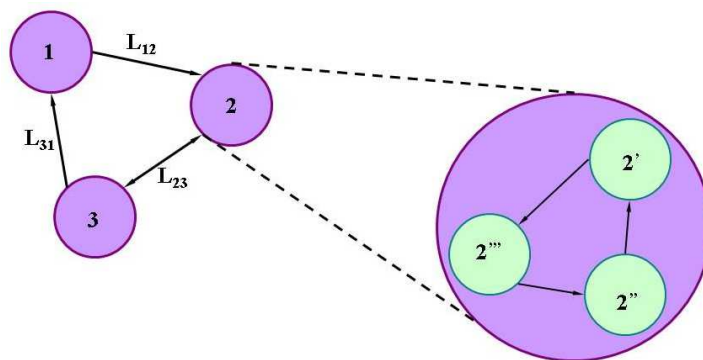


Рисунок 2.2: Мережеве представлення системи критичної інфраструктури

2.3.1 Системи критичної інфраструктури та моделювання взаємозалежностей

Лінії, які з'єднують вищезгадані вузли, представляють собою зв'язки мережі і є схематичним зображенням залежностей і взаємозалежностей. Як вже зазначалося, сучасні взаємопов'язані критичні інфраструктури можна розглядати як SoS. SoS - це комбінація різномірних компонентів, які взаємодіють між собою різними способами. Згідно з Рінальдї та ін. [19], існує декілька типів взаємозалежностей:

- Фізичні

- Кібер
- Логічні
- Географічні

Без особливої втрати загальності можна сміливо припустити, що ці взаємозалежності можна згрупувати у функціональні (кібернетичні, логічні) та топологічні (фізичні, географічні). Функціональні залежності можна визначити як залежності типу "увімкнено - вимкнено" (1 або 0). Прикладом функціональної залежності може бути зв'язок між електростанцією та центром управління. Електростанція потребує інформації для того, щоб мати змогу відповідно регулювати своє виробництво. З іншого боку, топологічні залежності набагато легше зрозуміти і візуалізувати.

а) Топологічні залежності - стосуються фізичного/географічного розташування компонента в системі

б) Функціональні залежності - базуються на ролі компонента в системі і стосуються інформації про систему, такої як заходи захисту, контролю, буферизації, відмовостійкості і т.д.

Основна складність, з якою стикаються, коли мова йде про функціональні залежності, полягає в отриманні необхідних даних. Вони можуть бути отримані або через експертну оцінку, або через наявні дані (це здебільшого стосується топологічних залежностей). Функціональні залежності завжди вимагатимуть певної експертної оцінки, головним чином через їхню природу. У цій роботі в частині системної інженерії основна увага приділяється функціональним залежностям. Однак, топологічні залежності також розглядаються. За певних обставин і використовуючи певні методи моделювання, ми можемо сміливо застосовувати концепцію функціональних залежностей для опису всіх видів взаємозалежностей. Це дозволило б створити гармонізовану структуру для оцінки взаємозалежностей у критичній інфраструктурі і було б корисним для політиків. Однак, це передбачається як майбутній розвиток поточної концепції.

2.3.2 Впровадження технологічної моделі

Системна інженерна модель розроблена як федерація підмоделей, інтегрованих у загальну платформу, як показано на рисунку 2.1. Безумовно, критично важливим компонентом цієї інфраструктури є компонент GIS (географічної інформаційної системи) та інтеграція з MATLAB і SIMULINK. GIS пропонує дружній користувацький інтерфейс, за допомогою якого користувач може надавати вхідні дані, необхідні для моделювання поведінки системи, а також для візуалізації результатів моделювання. На основі цієї інформації автоматично створюється інженерна модель системи за допомогою MATLAB/SIMULINK.

Враховуючи внутрішньогалузеву та міжгалузеву природу сучасних об'єктів критичної інфраструктури, модель системної інженерії розроблена таким чином, щоб відобразити цей підхід, як показано на рисунку 2.1. Різниця між галузевими та міжгалузевими взаємозалежностями в основному пов'язана з відмінностями у підходах до моделювання. На секторальному рівні взаємозалежності можуть бути найрізноманітніших видів, і вибір доступних моделей є величезним. Згадаємо, наприклад, роботу Берда та ін. ([20]) про принцип збереження ресурсів системи, підходи до архітектури високого рівня Еусгельда та ін. ([11]), агентні моделі Оліва та ін. ([21]), системну динаміку Міна та ін. ([22]) тощо. На міжгалузевому рівні взаємозалежності є переважно функціональними.

2.3.3 Виділення топології систем інфраструктур

Першим кроком у процесі моделювання поведінки мережевих систем є побудова моделі на основі її топології. Під топологією ми розуміємо як функціональну, так і топологічну зв'язність різних елементів інфраструктури. Рівень агрегації для кожного вузла залежить від користувача та обсягу доступних даних. На основі інформації про топологію мережі (Рисунок 2.3(а)) та функціональні залежності (Рисунок 2.3(б))

визначається інформація про структурні властивості конкретного вузла по відношенню до інших вузлів (критичність, вразливість, взаємозалежність, коефіцієнти взаємодії та зв'язку тощо). Це дозволяє ще більше спростити мережу, оскільки найменш вразливі вузли можуть бути вилучені з аналізу. Ця робота є частиною іншого звіту [23] і пов'язана з оцінкою стійкості критичної інфраструктури.

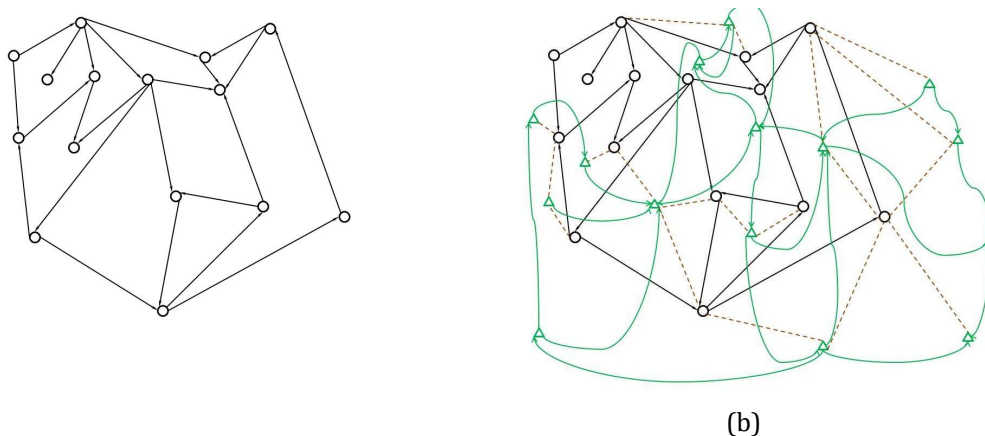


Рисунок 2.3: Представлення а) топології мережі; б) функціональних залежностей у критичній інфраструктурній мережі

Як показано на рис. 2.3, в мережах критичної інфраструктури можуть бути встановлені як функціональні, так і топологічні залежності. Топологічні залежності чітко відображаються за допомогою GIS-системи, але користувач має можливість призначити додатковий рівень залежностей, створюючи зв'язки між вузлами мережі. Оскільки цей рівень залежностей є суто функціональним, він підпорядковується певним правилам. Імплементация таких правил в існуючий підхід до моделювання буде предметом подальших розробок. На даному етапі це робиться виключно користувачем і базується на експертних оцінках.

Для того, щоб продемонструвати важливість наявності як топологічних, так і функціональних залежностей, ми представили просту схему фіктивної мережі. Збурення, яке слідує за деструктивною подією, вводиться в систему (Рисунок 2.4(а)). Ця збурююча подія може бути, наприклад, вхідним сигналом від такого інструменту, як RAPID-N [24], або будь-якого іншого інструменту, який може забезпечити такий

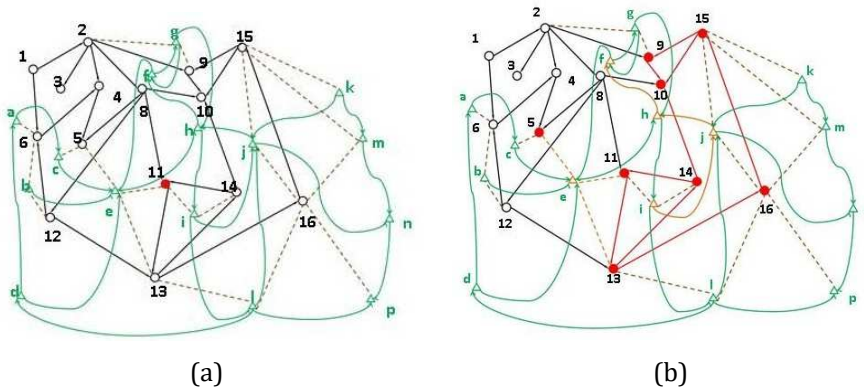


Рисунок 2.4: а) Введення збурення та б) Реакція мережі

тип вхідного сигналу. Наприклад, при введенні збурення у вузол 11, топологічна модель показує лише (можливе) поширення до вузлів, з'єднаних червоними зв'язками (топологічні залежності). Беручи до уваги функціональні взаємозалежності, вузол 5 також може зазнати впливу, хоча ця інформація не відображена у фізичній топології. Врахування як структурних, так і функціональних взаємозалежностей дозволяє краще представити поведінку моделі, як показано на рисунку 2.4(b). Прикладом такої інфраструктури може бути електрична мережа, де топологічні залежності можуть бути представлені топологією мережі, в той час як комунікаційний рівень може бути наданий користувачем у вигляді функціональних залежностей.

Збурення, отримане на рівні інфраструктури, є вхідними даними для оцінки на міжгалузевому рівні. Та ж методологія, що описана вище, може бути використана для відображення систем критичної інфраструктури, однак для отримання розумної складності необхідний певний рівень абстракції. Подібно до того, як було зазначено вище, міжгалузєва модель визначає збурення, якого зазнає система критичної інфраструктури після збурення.

Реалізація моделі виконана за допомогою пакету MATLAB/SIMULINK. Цей пакет було обрано завдяки його здатності моделювати поведінку таких систем, а також можливості підключення до бази даних PostgreSQL, що використовується GIS-платформою, для імпорту топології та автоматичного перетворення її в Simulink-модель. Проста мережа з шести вузлів, показана на Рисунку 2.7(a), представлена тут як доказ концепції.

2.4 Побудова моделі в Simulink

Після вибору системи та отримання необхідної інформації про її топологію та поведінку, топологія мережі витягується через базу даних PostgreSQL, використовуючи або Database Toolbox, доступну в MATLAB, або MS Excel як проміжний засіб.

Database Toolbox - це велика колекція інструментів для роботи з MATLAB, яка дозволяє імпортувати та експортувати дані між MATLAB та реляційними базами даних ([25]). Цьому інструментарію надається перевага, оскільки він дозволяє автоматизувати процес вилучення даних. Для того, щоб виконати необхідні операції в Matlab і Simulink, необхідно перевести топологію, витягнуту з GIS-системи, в математичне представлення. Це досягається за допомогою матриці суміжності. Матриця суміжності розраховується автоматично на основі даних GIS. Для цілей даного аналізу та у зв'язку з тим, що розглядаються лише функціональні залежності, значення матриці суміжності дорівнюють або 1, або 0. Очевидно, що 1 представляє зв'язок між двома вузлами.

Simulink - це чудовий інструмент для моделювання роботи систем у часовій та частотній області. Він базується на будівельних блоках, які виконують різні математичні розрахунки, але зазвичай вимагає проектування системи в кожному конкретному випадку. Це не є практичним для аналізу критичної інфраструктури. Це пов'язано з динамічним характером систем критичної інфраструктури, еволюцією мережевих топологій та необхідністю оцінювати ситуації, коли вихід з ладу одного з компонентів призводить до реконфігурації всієї мережі. З цієї причини ми розробляємо автоматизовану процедуру, яка базується на будівельних блоках. Ці будівельні блоки представляють вузли системи. Наразі ми припускаємо стандартну поведінку вузла. Згідно з цим припущенням, якщо вузол N_j (або вузли), від якого залежить вузол N_i , відмовляє (або відмовляють), то вузол N_i переходить у режим відмови, що супроводжується експоненціальним падінням його продуктивності.

Постійна часу цієї експоненціальної функції визначає швидкість спаду (час відмови). Нижче певного порогового значення вважається, що вузол N_i вийшов з ладу і не надає жодних послуг компонентам мережі, які залежать від вузла i . Як наслідок, вузли, які залежать від вузла N_i , також переходять в режим відмови і т.д.

Відновлення вузла починається тоді, коли відновлюється вузол (або вузли), від якого залежить цей вузол, або якщо ми вважаємо, що зовнішнє втручання повертає цей вузол до функціонального стану. Знову ж таки, відновлення моделюється за допомогою експоненціальної функції з постійною часу, яка є часом відновлення. Час буферизації і час відновлення для кожного вузла вже введено в шар GIS для кожного вузла для конкретного сценарію, що аналізується. Таким чином, ця інформація вже доступна.

Поведінка кожного вузла системи представлена блоком у Simulink, як показано на рисунку 2.5(a). Далі цей блок деталізується для створення будівельного блоку, показаного на рисунку 2.5(b). З цього рисунка видно, що в кожному вузлі існує функція I , яка означає, що відмова одного з вузлів, від якого залежить цей вузол, викликає режим відмови відповідного вузла. Зображення на Рисунку 2.5(a) наведено для випадку вузла з двома входами. Це явно залежить від інформації GIS i , як наслідок, від інформації в матриці суміжності. Зв'язність входу змінюється відповідно, щоб відобразити зв'язок з більшою кількістю вузлів. Нарешті, реалізовано функцію Matlab (див. Рисунок 2.5(c)) для того, щоб виконати перевірку порогового значення для стану вузла. Цей поріг також вводиться через систему GIS. Вхідні параметри, необхідні для виконання моделювання в Simulink, є наступними:

- Частота відмов вузла i , f_i
- Швидкість відновлення вузла i , r_i
- Порогова швидкість вузла i , th_i

В якості майбутньої роботи передбачається запропонувати можливість визначати поведінку вузлів через випадаюче меню доступних функцій в шарі GIS. Очевидно, що вимоги до вхідних даних будуть відповідно змінені.

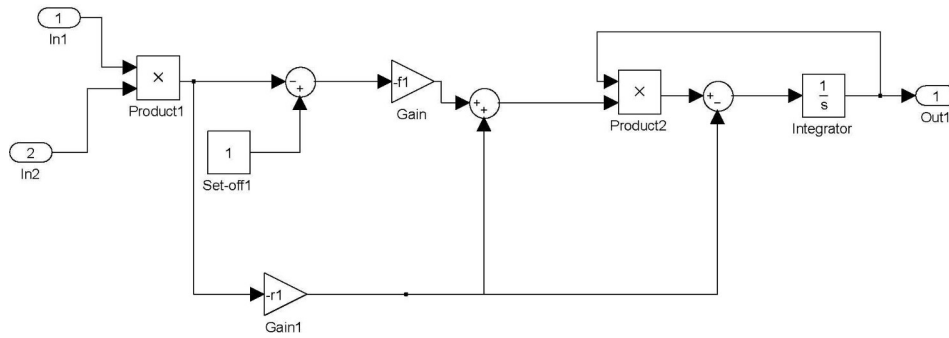
Також реалізовано додаткову категорію вузлів, так звані вузли з прямим впливом. У цьому випадку немає необхідності моделювати роботу вузла, оскільки його поведінка визначається вектором збурення. У термінології Simulink це означає, що генератор імпульсів, який пов'язаний з цим вузлом, використовується для введення сигналу збурення. Simulink-модель вузла (або вузлів), на який безпосередньо впливає збурення, показано на рисунку 2.6. Знову ж таки, зв'язність цього блоку Simulink визначається матрицею суміжності. З цієї причини на рисунку 2.6 зображений вузол має два виходи, оскільки до нього під'єднані два різні вузли (див. нижче на рисунку 2.8).

2.5 Доказ концепції спрощеної Системи систем

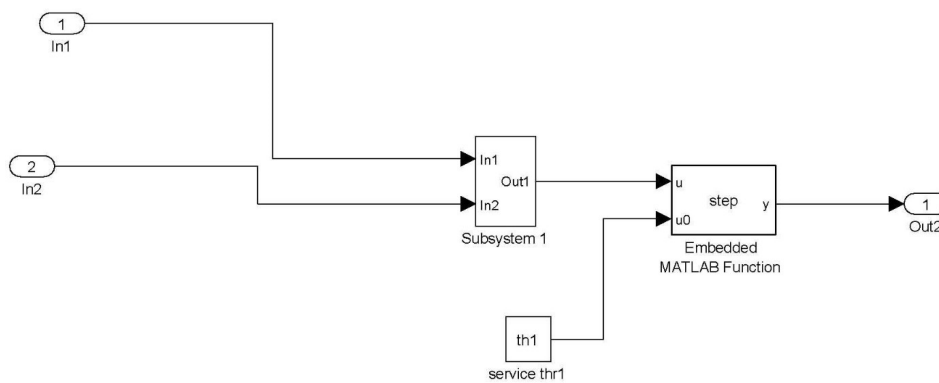
Для того, щоб продемонструвати обґрунтованість підходу, змодельовано простий приклад з 6 вузлами. Для цілей цієї перевірки концепції ми можемо сміливо припустити, що кожен з цих вузлів представляє окрему інфраструктуру, припускаючи, таким чином, абстрагування інформації на високому рівні. Топологія мережі, а також необхідні параметри для кожного вузла експортуються з GIS-системи.

Зривна подія моделюється шляхом введення збурення (у вигляді ступінчастої функції) в один з вузлів системи. У цьому прикладі збурення вводиться у вузол 2. Вузол 1, який безпосередньо з'єднаний з вузлом 2, більше не розглядається в аналізі, оскільки він повністю від'єднаний від решти мережі. Час відмови t_f визначає тривалість, протягом якої вузол вважається таким, що перебуває в режимі відмови. У Simulink це збурення вводиться через блок Pulse Generator (Генератор імпульсів), як показано на рисунку 2.6, але значення збурення вводиться вже через шар GIS.

Після того, як модель завершено і збурення введено у вузол, на який воно безпосередньо впливає, можна змоделювати збурення на решті вузлів і в усій мережі, вибравши тривалість події.



(a)



(b)

```
function y = step(u, u0)
% This block supports an embeddable subset of the MATLAB language.
% See the help menu for details.

%#enl
if u > u0
    y=1;
else
    y=0;
end
```

(c)

Рисунок 2.5: SIMULINK модель залежного вузла a) Модель поведінки вузла b) Модель зв'язку (підсистема1 представлена на рисунку 2.5(a)) c) Код Matlab для перевірки порогу

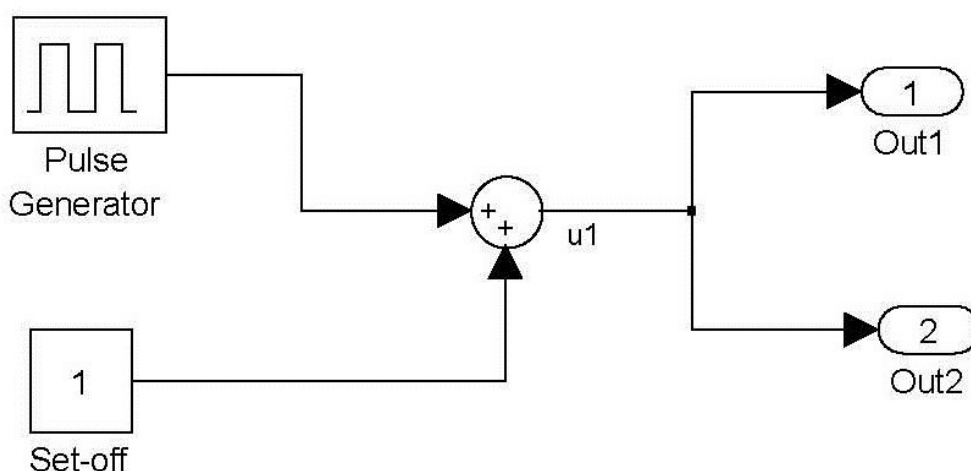


Рисунок 2.6: SIMULINK модель безпосередньо ураженого вузла

Результати моделювання можна легко візуалізувати за допомогою графіків залежності рівня обслуговування від часу, як показано на рисунку 2.9, або в системі GIS, як показано на рисунках 2.7(с) та 2.7(d). Крім того, результати можуть бути збережені у файлах MS Excel, до яких можна легко отримати доступ і використовувати для подальшого аналізу в інших системах.

Результати, представлені на рисунку 2.9, показують, що для аналізованої мережі відмова вузла 2 (рисунок 2.9(a)) призведе до повної відмови мережі (рисунок 2.9(б)). Для всіх вузлів значення інтенсивності відмов та відновлення встановлюються рівними 1 одиниці часу, а порогові значення встановлюються рівними 0,5. Час відмови для вузла 2 встановлено у 2.5 одиниці часу. Хоча вузли 3, 4 і 5, відповідно, встигають відновитися за короткий проміжок часу (рис. 2.9(с) 2.9(е)), відмова і пізніє відновлення вузла 6 (рис. 2.9(f)) в кінцевому підсумку призведе до повного виходу з ладу мережі критичної інфраструктури. Таким чином, конфігурація мережі та параметри кожного вузла є критично важливими для розуміння її динамічної поведінки у випадку збою. Крім того, саме тут на сцену виходить концепція відмовостійкості. В якості подальшого розвитку цієї роботи передбачається включення модуля оцінки стійкості до збоїв.

Підводячи підсумок, за допомогою цієї методології та інструменту реалізації можна оцінити вплив руйнівної події на мережі критичної інфраструктури.



(a)



(b)



(c)



(d)

Рисунок 2.7: а) Витяг топології з мережі GIS; б) введення збурення в мережу критичної інфраструктури; в) поширення збою в мережі критичної інфраструктури; г) часткове відновлення мережі критичної інфраструктури

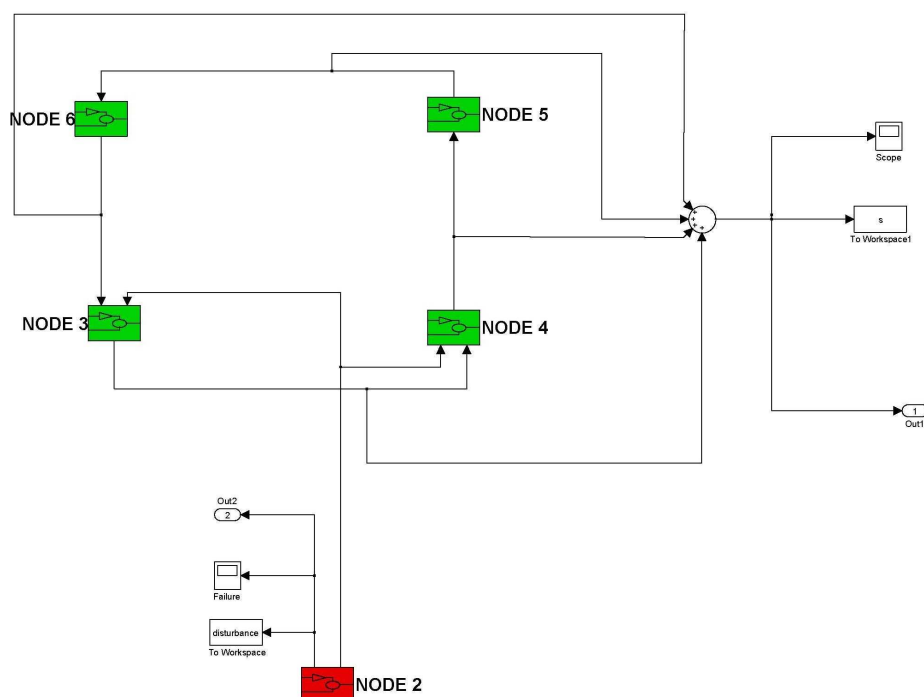
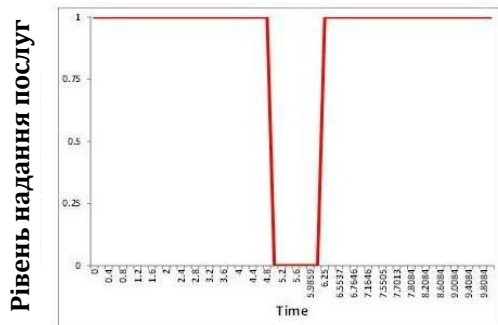


Рисунок 2.8: *SIMULINK* модель мережі критичної інфраструктури

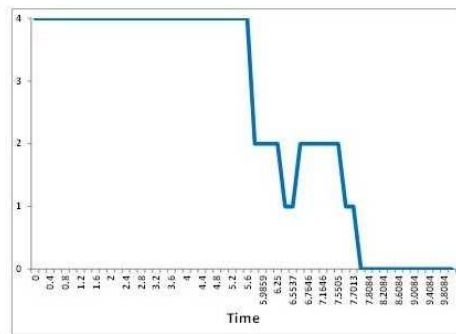
Це завершує оцінку на рівні активів (не показано в цій роботі), і фактично оцінка на рівні активів може забезпечити вхідні дані для визначення параметрів збурення, яке буде введено у відповідний вузол/інфраструктуру в цій моделі.

2.6 Висновки та подальша робота

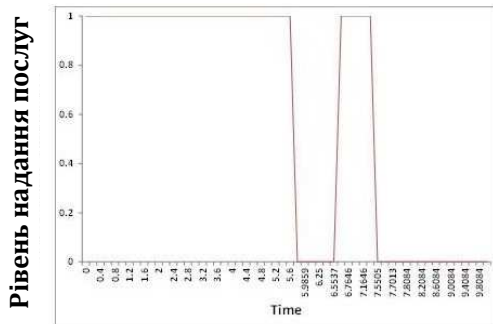
У цьому розділі ми надали огляд підходу до моделювання, який застосовувався для оцінки поведінки мереж об'єктів критичної інфраструктури в результаті руйнівної події. Методологія може бути застосована для оцінки як сектора, так і взаємозалежних секторів критичної інфраструктури. Вона доповнює різні зусилля, які існують для оцінки ризиків на рівні активів, з мінімальними вимогами до даних, що є критично важливим для політиків, які потребують інструменту для моделювання за короткий проміжок часу. Зрозуміло, що ця методологія вимагає певного рівня абстрагування інформації.



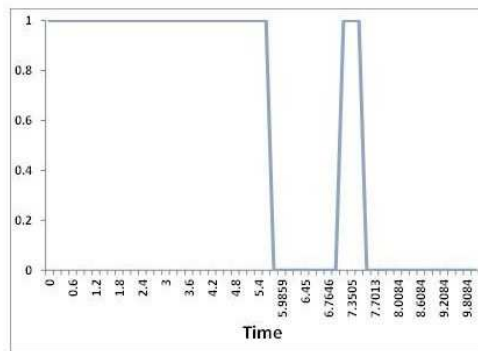
Вузол збурення 2



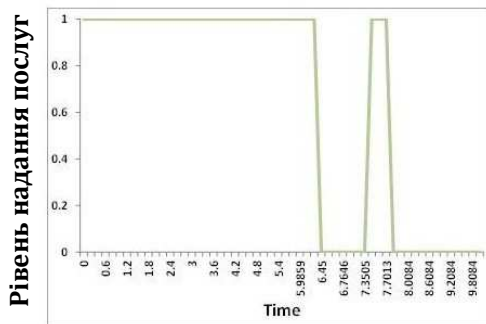
Відповідь мережі Вузли 3-6



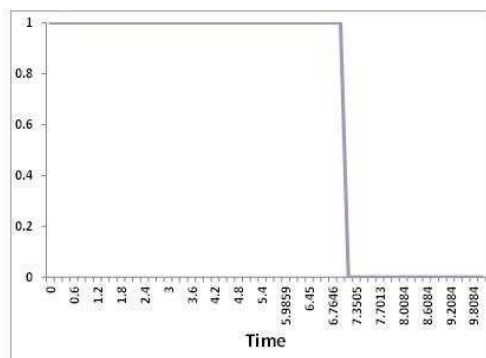
Відповідь Вузол 3



Відповідь Вузол 4



Відповідь Вузол 5



Відповідь Вузол 6

Рисунок 2.9: Результати моделювання SIMULINK-моделі мережі критичної інфраструктури: а) Збурення на безпосередньо постраждалому вузлі; реакція б) решти мережі; с) вузла 3; д) вузла 4; е) вузла 5; ф) вузла 6 на вихід з ладу безпосередньо постраждалого вузла ф) Звітність та візуалізація результатів

Використовуючи дані цього аналізу, можна оцінити економічні наслідки порушення роботи критичної інфраструктури за допомогою підходу моделювання вводу/виводу, який пояснюється в наступному розділі.

Інформація, необхідна для системно-інженерної моделі, залежить не тільки від типу критичної інфраструктури, що розглядається, але й від типу загрози, яка спричиняє порушення. З цієї причини необхідна розробка бібліотеки моделей поведінки систем на основі цих двох категорій, яка буде розглянута при подальшому розвитку цієї версії моделі. Крім того, GIS зможе автоматично розпізнавати тип даних, необхідних для кожної з підключених моделей, і відповідно адаптувати поля введення. Подальшим розвитком системно-інженерної моделі є представлення поведінки критичної інфраструктури на основі моделі непрацездатності вхід-вихід ([26]) з метою розширення її застосовності до систем з топологічними взаємозалежностями, які спричиняють безперервні потоки товарів. Таким чином, можна буде моделювати такі системи на високому рівні абстракції.

Розділ 3

Економічне моделювання порушення роботи критичної інфраструктури

3.1 Вступ

Порушення роботи критичної інфраструктури може мати значний вплив на економічний рівень, особливо для великих інфраструктур, таких як енергетичний сектор, телекомунікаційний сектор тощо. Поняття економічного впливу критичної інфраструктури чітко згадується в Директиві ЕРСІР. Наскрізні критерії посиляються на економічний вплив порушення роботи критичної інфраструктури як на засіб перевірки критичності інфраструктури на європейському рівні. Таким чином, зрозуміло, що коли мова йде про оцінку ризиків критичної інфраструктури, економічний ризик неодмінно має бути врахований.

Методологія оцінки ризиків у цій роботі зосереджена на економічному впливі порушення роботи критичної інфраструктури. Цілі високого рівня для компоненту економічного впливу є наступними:

- Кількісно оцінити наслідки, спричинені різними подіями (підхід до всіх небезпек)

-
- Кількісно оцінити непрямі ефекти, тобто ефекти, які каскадом передаються від одного СІ до іншого через взаємозалежності
 - Кількісно оцінити ефекти, що виникають в результаті виходу з ладу всіх видів інфраструктури
 - Розглядати "робочу силу" як СІ
 - Враховувати просторовий вимір наслідків
 - Включити елементи стійкості
 - Враховувати також вплив на ланцюги постачання
 - Враховувати імовірнісний підхід
 - Застосовуватися на європейському рівні (всі 27 країн-членів ЄС).

Аналіз літератури ([27]) показав, що було розроблено кілька методів розрахунку економічного впливу перерв у наданні послуг інфраструктури. Це дослідження було використано для того, щоб вибрати відповідний метод для оцінки економічних наслідків порушення роботи критичної інфраструктури. Висновок [27] полягав у тому, що моделювання I-O (вхід-вихід) є найбільш підходящим. Моделі "вхід-вихід" хвалять за їхню простоту і водночас критикують за їхні обмеження. Однак в останні роки багато обмежень цього типу моделей було подолано. Сьогодні вони можуть включати динаміку відновлення і дозволяють проводити імовірнісний аналіз, і це лише деякі з минулих недоліків, за які ця методологія піддавалася жорсткій критиці.

3.1.1 ІМ

Обраний тип моделі I-O - це модель ІМ. Вона є похідною від моделі I-O Василя Леонтьєва ([28], [29]). Формулювання оригінальної моделі I-O подано у рівнянні 3.1, де x_i - це загальний обсяг виробництва в секторі i .

Технічний коефіцієнт a_{ij} представляє співвідношення між обсягами

виробництва в секторі і та секторі j і загальними виробничими потребами сектору j. Нарешті, c_j вказує на кінцевий попит в і-му секторі.

$$x_i = a_{ij}x_j + c_j \quad (3.1)$$

Взявши цю класичну модель за відправну точку, Сантос та Хаймес ([30]) запропонували ПМ-зменшення попиту, використовуючи наступне формулювання:

$$q = A^*q + c^* \quad (3.2)$$

Де q - вектор непрацевдатності, виражений у вигляді відносних втрат. Елементи вектора q відображають відношення нереалізованого виробництва до "планового" рівня виробництва галузей. A^* - матриця взаємозалежності, яка показує ступінь зв'язку між галузями. Елементи в певному рядку цієї матриці (див. Рівняння 3.3) вказують на величину додаткової непрацевдатності, яка створюється галуззю "стовпчика" для галузі "рядка". \hat{x} - виробничий потенціал галузі і. Нарешті, c^* - вектор збурення з боку попиту, виражений у вигляді відносного погіршення кінцевого попиту.

$$A^* = \begin{pmatrix} a_{11} \left(\frac{\hat{x}_1}{\hat{x}_1} \right) & \dots & a_{1j} \left(\frac{\hat{x}_j}{\hat{x}_1} \right) & \dots & a_{1n} \left(\frac{\hat{x}_n}{\hat{x}_1} \right) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} \left(\frac{\hat{x}_1}{\hat{x}_i} \right) & \dots & a_{ij} \left(\frac{\hat{x}_j}{\hat{x}_i} \right) & \dots & a_{in} \left(\frac{\hat{x}_n}{\hat{x}_i} \right) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} \left(\frac{\hat{x}_1}{\hat{x}_n} \right) & \dots & a_{nj} \left(\frac{\hat{x}_j}{\hat{x}_n} \right) & \dots & a_{nn} \left(\frac{\hat{x}_n}{\hat{x}_n} \right) \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

А

Рівняння 3.3 переписується у вигляді:

$$q = (I - A^*)^{-1} c^* \quad (3.4)$$

Тоді давайте визначимо $(I - A^*)^{-1}$ as B^* . Припускаючи, що B^* існує (математично $\det(I - A^*)^{-1} \neq 0$), елементи b_{ij} матриці B^* представляють загальну передачу непрацездатності, тобто кількість непрацездатності, що вноситься в систему зовнішньою відмовою c^* , яка передається на i -ту інфраструктуру з урахуванням залежностей першого, другого та вищого порядку. Зауважте, що це відрізняється від елементів a_{ij}^* матриці A^* , які враховують лише прямі впливи. Нарешті, для того, щоб оцінити економічні втрати δx , непрацездатність сектора i (q_i) множиться на його відповідний "плановий" обсяг виробництва (x_i), тобто:

$$\delta x = \text{diag}(q)x \quad (3.5)$$

де $\text{diag}(q)$ - діагональна матриця, утворена з q .

Як наслідок, ПМ виробляє дві метрики: непрацездатність (q) та екологічні втрати (δx). Термін "непрацездатність" означає рівень дисфункції системи, виражений у відсотках від її "планової" виробничої потужності. Непрацездатність, спричинена навмисними атаками, аваріями або стихійними лихами, може спричинити ланцюг каскадних впливів на інші взаємопов'язані системи. Таким чином, непрацездатність відноситься до нормованих виробничих втрат, які можна визначити як ([30]):

$$\text{Нормовані виробничі втрати} = \frac{\text{"Заплановане" виробництво} - \text{Деградоване виробництво}}{\text{Номінальне виробництво}} \quad (3.6)$$

Кожен елемент вектора q знаходиться в інтервалі $[0, 1]$. Якщо елемент цього вектора дорівнює 0, це означає, що галузь працює у звичайному режимі; якщо елемент дорівнює 1, це означає, що відповідна галузь повністю не функціонує або повністю нездатна до виробництва. Економічні втрати можуть бути визначені як втрата запасів або втрата потоку

(або втрати від перерви у виробництві).

В економіці потоки означають послуги або результати використання запасів протягом певного періоду часу, тоді як запаси означають кількість в один момент часу. Пошкодження запасів означає зменшення вартості запасів і, як правило, призводить до зменшення потоків послуг. Втрати потоку лише частково виникають через пошкодження запасів компанії і можуть відбуватися без наявності майнових збитків [31]. Як втрати запасів, так і втрати потоків можуть мати прямий або непрямий характер. Прямі наслідки виникають у секторі, який зазнає впливу певної небезпеки. Непрямі наслідки впливають на сектори, які розташовані в безпосередній близькості до первісно ураженого сектору (непрямі втрати запасів) або які залежать від первісно ураженого сектору через співвідношення попиту і пропозиції (непрямі потокові ефекти). У Таблиці 3.1 узагальнено різні типи економічного впливу.

Таблиця 3.1: Класифікація економічних впливів

	Пошкодження запасів	Ефекти/втрати потоку
Прямі	Матеріальні збитки в секторі ураження	Перебої в роботі в ураженому секторі
Непрямі	Через викиди небезпечних матеріалів	Через зв'язки з постачальниками/клієнтами з сектору, що зазнав найбільшого удару

Моделі "Вхід-вихід" (I-O), а отже, і ПМ, ігнорують втрати запасів і враховують лише прямі та непрямі втрати потоку. Врахування як втрат запасів, так і втрат потоку призведе до подвійного підрахунку. Вартість активу, яким, наприклад, може бути обладнання, що належить до інфраструктури, - це дисконтований потік чистих майбутніх доходів від його експлуатації. Отже, припустимо, що машина з терміном експлуатації 1 рік була зруйнована і не була замінена протягом року, тоді економічні втрати дорівнюють або вартості заміни машини з терміном експлуатації 1 рік, або дисконтованому потоку невиробленої продукції за один рік ([32]).

Грінберг та ін. ([33]) стверджують, що ПМ є одним з десяти найважливіших досягнень в аналізі ризиків за останні 30 років. Докази цього твердження можна знайти, наприклад, у Crowther and Haines ([34]), Barker and Haines ([35], [36]), Lian and Haines ([37]) або Lian et al. ([38]). Наступний розділ присвячений місцю ПМ-аналізу в оцінці ризиків.

3.1.2 ПМ та оцінка ризиків

ПМ представляє перспективу взаємозалежностей для розрахунку каскадних ефектів від навмисної атаки, стихійного лиха або заходів безпеки. Блок-схема на рис. 3.1 ілюструє, як ці перспективи можуть бути використані в оцінці ризиків. Прямі впливи (збурення у векторі C^*) від галузевих ризиків вводяться в ПМ для аналізу взаємозалежності. Jonkeren та ін. ([39])¹ демонструють гарний приклад того, як ПМ може бути застосований для цілей оцінки ризиків. У дослідженні проводиться аналіз взаємозалежності для оцінки загальних наслідків для країни-члена ЄС (Італії) в результаті порушення роботи енергетичної інфраструктури. ПМ базується на моделі системної інженерії, описаній у попередньому розділі. Після того, як ймовірність збоїв відома, у поєднанні з результатами моделі щодо економічних втрат, можна визначити ризик, на який наражається інфраструктурна система.

3.1.3 ПМ та стійкість: ДПМ

Оскільки кілька застосувань статичного ПМ довели його придатність для дослідження економічних наслідків виходу з ладу об'єктів критичної інфраструктури ([40], [41]), модель було розширено за рахунок включення аспекту економічної стійкості. Роуз ([42]) визначає економічну стійкість як здатність суб'єкта або системи підтримувати функціонування в умовах шоку. Першим типом стійкості, який було додано до ПМ, є відновлювальна стійкість або швидкість відновлення після збою (Хеймс та ін. [43]; [44]). Включення цього типу стійкості змінює статичний ПМ на ДПМ (динамічний ПМ).

¹Остання версія цієї статті була подана до Міжнародного журналу захисту критичної інфраструктури і перебуває на стадії рецензування на момент написання цього звіту

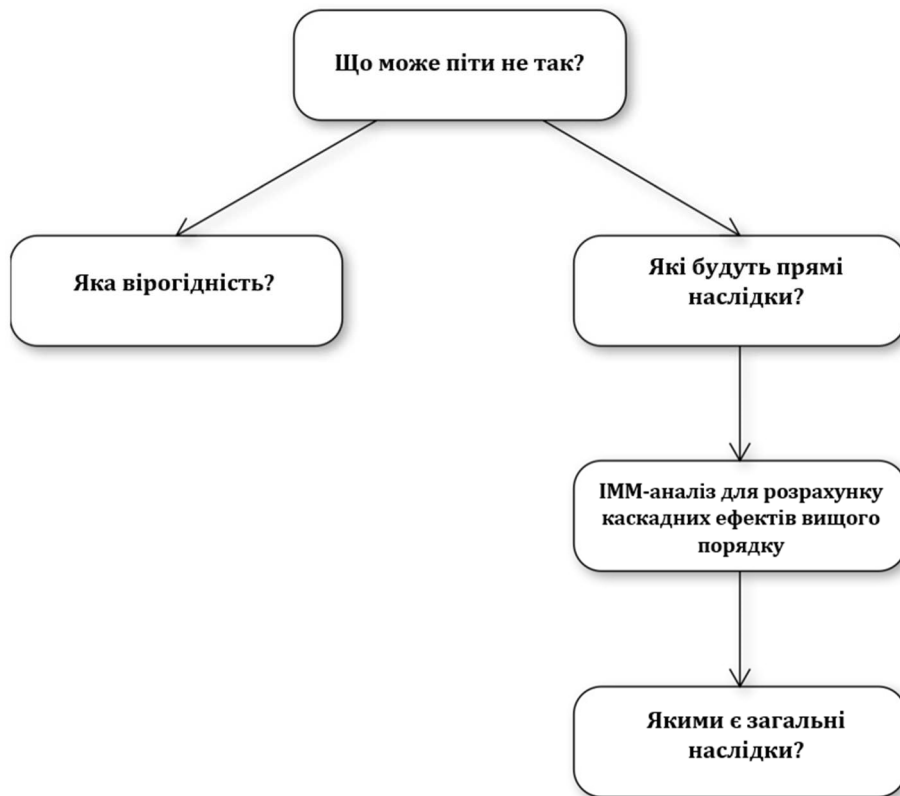


Рисунок 3.1: Аналіз ІММ в процесі оцінки ризиків (Джерело: Crowther and Haimes, 2005)

Залежно від темпів відновлення секторів економіки, рівні непрацездатності та економічні втрати оцінюються для кожного періоду часу t (який може бути визначений у днях, тижнях або місяцях) та для кожного сектору. Математично модель описується рівнянням 3.7.

$$q(t + 1) = q(t) + K [c(t) - q(t) + Aq(t)] \quad (3.7)$$

де K - матриця стійкості сектору, яка має значення від 0 до 1 на діагоналі та нулі в інших місцях. Кожен коефіцієнт стійкості k_i в матриці K визначається природою окремого сектору, а також контролем над ним через політику управління ризиками. Зміцнення інфраструктури та інші заходи зі зниження ризиків у секторах економіки підвищують k_i . Як наслідок, рівень непрацездатності та економічні втрати зменшуються, а час відновлення скорочується.

Другим типом економічної стійкості є "адаптивна стійкість", яка відноситься до зміни швидкості відновлення сектору протягом періоду відновлення. Швидкість відновлення може змінюватися з часом, наприклад, через прискорення відновлення. Це може статися, коли кількість робочої сили, доступної для проведення ремонтних робіт на зруйнованих газопроводах у певному регіоні, збільшується з часом t . У цьому прикладі значення k_{gas} у матриці K збільшуються з плином часу. Останній тип стійкості, який ми явно враховуємо в нашій моделі, - це "абсорбційна стійкість", яка є мірою буферної здатності сектору. З двома вищезгаданими типами стійкості, ДІМ не має можливості врахувати стратегії управління ризиками, які підтримують життєво важливі послуги або відтермінують початок непрацездатності. Поєднуючи ДІМ з концепцією "інвентаризації", в модель можна включити абсорбційну стійкість. Інвентар може бути представлений готовою продукцією або іншим способом, за допомогою якого здатність інфраструктури надавати товари або послуги іншим інфраструктурам, секторам і кінцевим споживачам зберігається, коли інфраструктура порушена. Наприклад, запаси в нафтогазовому секторі можуть включати надлишкові запаси бензину, готові до використання, а надлишкові потужності в електроенергетиці, де енергія не може зберігатися, можуть включати резервні генератори, які можуть забезпечити певний обсяг загального виробництва, який необхідно підтримувати ([45]). Запаси включаються в модель шляхом додавання додаткової змінної до рівняння 3.7. Для того, щоб зробити цей звіт не надто технічним, математичні деталі цього розширення не розглядаються. Типи стійкості, описані в цьому розділі, підсумовано на Рисунку 3.2.

У моделі Inventory-DІМ рівняння 3.7 береться за відправну точку, а потім розширюється двома додатковими змінними, а саме: непрацездатністю виробництва $p_i(t)$ та рівнем запасів $X_i(t)$ (див. рівняння 3.8).



Рисунок 3.2: Типи економічної стійкості.

$$q_i(t+1) = \begin{cases} q_i(t) + k_i[c_i^*(t) - q_i(t) + \sum_{j=1}^n a_{ij}^* q_j(t)] & \text{if } X_i(t) \geq p_i(t+1)x_i(t+1) \\ \max \begin{cases} p_i(t+1) - \frac{X_i(t+1)}{x_i(t+1)} \\ q_i(t) + k_i[c_i^*(t) - q_i(t) + \sum_{j=1}^n a_{ij}^* q_j(t)] \end{cases} & \text{if } 0 < X_i(t) < p_i(t+1)x_i(t+1) \\ \max \begin{cases} p_i(t+1) \\ q_i(t) + k_i[c_i^*(t) - q_i(t) + \sum_{j=1}^n a_{ij}^* q_j(t)] \end{cases} & \text{if } X_i(t) = 0, X_i(t) > 0 \\ q_i(t) + k_i[c_i^*(t) - q_i(t) + \sum_{j=1}^n a_{ij}^* q_j(t)] & \text{if } X_i(t+1) = X_i(t) = 0 \end{cases} \quad (3.8)$$

Виробнича непрацездатність сектора i в кінці часу t описує непрацездатність виробничого процесу лише через фізичне порушення в цьому процесі. Рівень запасів $X_i(t)$ кількісно визначає кількість запасів у секторі i , що залишилися на кінець часу t ([45]). Непрацездатність сектору ініціалізується рівнянням 3.9. Член $X_i(t)$ описує загальний обсяг випуску, який, як очікується, буде вироблено в секторі i між кінцем часу $t-1$ і кінцем часу t . Звичайно, якщо є достатньо запасів, щоб покрити скорочення випуску, спричинене початковою непрацездатністю виробництва, що визначається як $p_i(0)x_i(0)$, то $q_i(0) = 0$. Якщо є певні запаси, але їх недостатньо, щоб покрити скорочення випуску, то непрацездатність сектору є функцією частки запасів, яка використовується для покриття скорочення випуску. Нарешті, якщо запаси відсутні, то початкова непрацездатність сектору повністю зумовлена фізичною непрацездатністю виробництва, яку переживає сектор.

$$q_i(0) = \begin{cases} 0 & \text{if } X_i(0) \geq p_i(0)x_i(0) \\ 1 - \frac{X_i(0)}{p_i(0)x_i(0)} & \text{if } 0 < X_i(0) < p_i(0)x_i(0) \\ p_i(0) & \text{if } X_i(0) = 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

3.1.4 Дані, необхідні для моделі І-О «вводу-виводу»

Матриці A^* на рівні країн в ІІМ наповнюються даними "вводу-виводу", що надаються WIOD (World Input-Output Database)². 16 квітня 2012 року Світова база даних "вводу-виводу" (WIOD) була відкрита для широкої громадськості. Ця база даних була розроблена для аналізу впливу глобалізації на структуру торгівлі, екологічний тиск та соціально-економічний розвиток широкого кола країн, а також може бути використана для аналізу економічних втрат. База даних охоплює 27 країн ЄС та 13 інших великих країн світу за період з 1995 по 2009 роки. Проект WIOD фінансується Європейською Комісією, Генеральним директором з досліджень в рамках 7-ї Рамкової програми, Тема 8: Соціально-економічні та гуманітарні науки.

У національних таблицях WIOD розглядаються 35 галузей економіки. Вісім з них можна визначити як галузі критичної інфраструктури, а чотири - як галузі, що належать до ланцюга постачання ключових ресурсів (KRSC). Щорічна детальна статистика підприємств, що надається Євростатом (в рамках теми "Структурна бізнес-статистика"), дозволяє нам проводити аналіз економічних втрат на більш детальному галузевому рівні, ніж це дозволяють зробити дані І-О. Наприклад, ці дані дозволяють нам оцінити економічні втрати для галузі електро-, газо- або водопостачання країни ЄС замість агрегованої галузі "електро-, газо- та водопостачання", як це розглядається в національній таблиці "введення-виведення" з WIOD.

У Таблиці 3.2 наведено огляд галузей СІ та KRSC, що розглядаються у WIOD (де деякі з них об'єднані з іншими), та галузей після процесу дезагрегації.

²Див. <http://www.wiod.org/index.htm>

Таблиця 3.2: CI та KRSC що розглядаються в моделі

Агрегований (WIOD)	Дезагреговано
<u>Галузі критичної інфраструктури</u>	<u>Галузі критичної інфраструктури</u>
Повітряний транспорт	Повітряний транспорт
Електро-, газо-, паро- та гаряче водопостачання	Електроенергія
Post &TLC	Газ
Водний транспорт	Вода
Наземний транспорт; транспортування трубопроводами	TLC
Фінансове посередництво, крім страхування та пенсійного забезпечення	Дорожна
Охорона здоров'я та соціальна робота	Залізнична
Робоча сила	Трубопроводів
<u>Ключові ресурси Ланцюги поставок галузей промисловості</u>	Внутрішній водний транспорт
Продукти харчування, напої, тютюн	Морський транспорт
Транспортне обладнання	Фінанси
Оптова торгівля	Здоров'я
Роздрібна торгівля	Робоча сила
	<u>Ключові ресурси Ланцюги поставок галузей промисловості</u>
	Продукти харчування, напої, тютюн
	Автомобільна промисловість
	Оптова торгівля
	Роздрібна торгівля

Припустимо, наприклад, що внаслідок певної події модель SE оцінює, що електроенергетика в Італії стає непрацездатною на 40%, і що ми знаємо на основі детальної статистики підприємств Італії, що електроенергетика відповідає за 75% випуску послуг галузі "Постачання електроенергії, газу, пари та гарячої води" (WIOD). Отже, ми вводимо коефіцієнт непрацездатності $(0,75 * 0,40) = 0,30$ для цієї галузі WIOD. Отже, 0,30 є (початковим) значенням для $P_{elec}^{(0)}$ в рівнянні 3.9 у цьому прикладі. Дані про рівні запасів також отримані з щорічної детальної статистики підприємств EUROSTAT через "відношення запасів готової продукції та незавершеного виробництва до вартості виробництва" для кожної галузі на рівні країни. Це співвідношення можна інтерпретувати як кількість наявних запасів по відношенню до обсягу виробництва. Наприклад, співвідношення 0,5 для галузі "харчові продукти, напої та тютюнові вироби" в Італії означає, що запасів вистачить на 0,5 т (півдня, тиждень або місяць) для цієї галузі в цій країні. Зауважте, що для електроенергетики, наприклад, це співвідношення, швидше за все, буде близьким або дорівнюватиме нулю, оскільки електроенергію неможливо зберігати.

3.1.5 Аналіз на регіональному рівні

На додаток до рівня країн-членів SE-DIIM також може виконувати аналіз економічних збитків та оцінку ризиків на більш низькому регіональному рівні. Однак, оскільки дані WIOD дозволяють оцінити взаємозалежності лише на національному рівні, проведення просторового аналізу вимагає перерахунку A^* . Зрештою, внутрішньорегіональні взаємозалежності, ймовірно, відрізняються від взаємозалежностей на національному рівні. Коефіцієнти регіональної взаємозалежності зазвичай оцінюються за допомогою регіональних мультиплікаторів, які будуються на основі показників регіонального виробництва порівняно з національним. У нашій моделі ці мультиплікатори формулюються на основі коефіцієнтів розміщення, які є співвідношеннями, що відображають відносне виробництво сектору в регіоні порівняно з національним (див. Рівняння 3.10). Рівняння 3.11 описує застосування коефіцієнтів розміщення для оцінки внутрішньорегіональних технічних коефіцієнтів. Якщо галузь i є менш концентрованою в регіоні, ніж на національному рівні ($lq_i^s < 1$), вона вважається менш здатною задовольнити регіональний попит своєю продукцією. Однак, якщо галузь i є більш концентрованою в регіоні, ніж на національному рівні ($lq_i^s \geq 1$), то передбачається, що національні коефіцієнти використання ресурсів галузі i , a_{ij}^* , застосовуються до регіону, і регіональний надлишок, вироблений галуззю i , буде "експортуватися" в решту країни ([46]).

$$lq_i^s = \frac{x_i^s/x^s}{x_i^N/x^N} \quad (3.10)$$

$$a_{ij}^{*s} = \begin{cases} lq_i^s a_{ij}^*, & lq_i^s < 1, \\ a_{ij}^*, & lq_i^s > 1, \end{cases} \quad (3.11)$$

де lq_i^s - частка попиту на продукцію галузі i в регіоні s , яка задовольняється всередині країни порівняно з іншими регіонами країни. x_i^s, x_i^N - загальний обсяг виробництва галузі i в регіоні s або країні N , відповідно. x^s, x^N - загальний обсяг виробництва всіх галузей в регіоні s або країні N . a_{ij}^* - обсяг непрацездатності сектора i через загальну непрацездатність сектора j в регіоні s . a_{ij}^{*s} - обсяг непрацездатності сектора i через загальну непрацездатність сектора j в країні.

Коефіцієнти розміщення базуються на національних та регіональних даних про зайнятість, наданих EUROSTAT, що є загальноприйнятим проксі для вихідних даних. Зауважте, що розмірність регіональних матриць A^{*s} дорівнює національній матриці A^* . Окремі елементи регіональних матриць зменшилися або залишилися незмінними, оскільки кожна регіональна матриця, що належить до однієї країни, є похідною від тієї ж національної матриці та від коефіцієнтів розташування, які знаходяться строго між 0 та 1. Інтуїтивно, значення повинні зменшуватися, оскільки враховуються менші регіони, і в цьому випадку ступінь взаємозв'язку між секторами в межах окремого регіону також зменшується ([47]).

3.2 Висновки та подальша робота

Наразі в літературі можна знайти моделі DIIM, які припускають, що економічне відновлення починається одразу після того, як відбувається руйнування інфраструктури. Однак, цілком ймовірно, що одразу після катастрофи промисловість не може розпочати відновлювальні роботи через низку практичних перешкод. Наприклад, після землетрусу ремонтні бригади не можуть дістатися до пошкоджених газопроводів, оскільки дороги також пошкоджені. Таким чином, SE-DIIM повинна мати можливість аналізувати період відразу після катастрофи, коли відновлення не відбувається (наприклад, протягом перших кількох періодів часу) і коли рівень непрацездатності лише погіршується через передачу непрацездатності. На рис. 3.3 представлені різні фази після катастрофи, які слід розрізняти. При $t = 10$ непрацездатність CI знову дорівнює нулю.

Рівняння 3.8 застосовується лише до фаз 2 і 3. Для того, щоб включити фазу 1, рівняння 3.8 потрібно розширити, додавши до нього фазу 1. Тому ми переписали рівняння 3.8, залишивши поза увагою аспект відновлення (змінну K). Результат можна побачити в рівнянні 3.12



Рисунок 3.3: *Різні фази після стихійного лиха*

Отже, разом рівняння 3.8 і 3.12 охоплюють три фази, зображені на Рисунку 3.3, і ми називаємо отриману модель Resilience-DIIM. У рівнянні 3.12, в залежності від ситуації з запасами, як і в рівнянні 3.8, є чотири можливих сценарії (які є взаємовиключними) для визначення непрацездатності на наступний період часу. Ця майбутня непрацездатність дорівнює максимальному значенню (1) рівня непрацездатності в поточному періоді плюс будь-яка додаткова непрацездатність, створена втратою попиту або передачею непрацездатності, або (2) виробнича непрацездатність, введена в наступному періоді часу.

Хоча розробка моделі для першої фази після катастрофи завершена, її практичного застосування ще не існує. Це передбачається в найближчому майбутньому. У розділі 3.1.3 було представлено три типи економічної стійкості. Всі ці типи стійкості знаходяться на галузевому або секторальному рівні. Однак, оскільки обсяг передачі непрацездатності від однієї інфраструктури до іншої може змінюватися на етапі після катастрофи, існує необхідність моделювання стійкості на системному або мережевому рівні. Цього можна досягти, дозволивши $a_{ij}S$ (взаємозалежності) в моделі, які представляють обсяг передачі непрацездатності між галузями, змінюватися з часом. Ключовим викликом тут є пошук надійного методу, який оцінює, як ці $a_{ij}S$ повинні змінюватися. Сетола та ін. ([48]) пропонують цікавий підхід (який далі розвинуто в роботі Оліва та ін. ([49])). Вони оцінюють параметри ПІМ для інфраструктури, розмір якої залежить від тривалості непрацездатності галузей, від яких вона залежить, використовуючи нечітку логіку. Вони розглядають п'ять часових інтервалів: 1 год, 1-6 год, 6-12 год, 12-24 год і 24-48 год і припускають, що протягом перших 48 годин після катастрофи не проводиться жодних відновлювальних робіт. Отже, через 48 годин після катастрофи взаємозалежність є найвищою, а передача непрацездатності - найсильнішою. Після цього вважається, що починається відновлення. Однак Сетола та ін. ([48]) не розглядають, що відбувається з розміром взаємозалежностей після початку фази відновлення. Цілком ймовірно, що вони знову починають зменшуватися, і в момент, коли система СІ повністю відновлюється після катастрофи (при $t = 10$ на рис. 3.3), матриця A^* , ймовірно, буде такою ж матрицею A^* , як і при $t = 0$. Зрештою, система повернулася до свого старого рівноважного стану. З цього міркування одразу випливає, що має існувати зв'язок між швидкістю відновлення (K) та зміною взаємозалежностей (A^*). Для нас застосування методології нечіткої логіки для оцінки того, як взаємозалежності змінюються з часом, є трудомістким і дорогим, особливо тому, що ми працюємо з більшою системою (35x35 A^* матриць WIOD таблиць), ніж Сетола та ін. ([48]), які використовують систему 11x11. Тому ми дослідимо можливість оцінювання функцій зміни взаємозалежностей для системи СІ, представленої в роботі Setola та ін. ([48]), і використаємо ці функції для нашого набору СІ. Нарешті, оригінальне формулювання Resilience-DIIM допускає лише один вектор збурення.

Однак у майбутньому передбачається, що ДІІМ зможе враховувати ймовірнісні збурення в галузях економіки, що означає, що Resilience-ДІІМ зможе використовувати матрицю збурень як вхідні дані для моделі. Це призведе до того, що на виході моделі будуть матриці непрацездатності та економічних втрат. Для прикладу такого розширення див. [50].

Список використаних джерел:

- [1] Європейська Комісія, Директива 2008/114/ЄС від 8 грудня 2008 року про ідентифікацію та призначення європейських об'єктів критичної інфраструктури та оцінку необхідності покращення їх захисту, Офіційний вісник Європейського Союзу, L345/75, 2008
- [2] Горбані, А.А., Багері, Е. Сучасний стан захисту критичної інфраструктури: основа для конвергенції, Міжнародний журнал критичної інфраструктури, т.2, №4, 312, 2008
- [3] Георгіос Джаннопулос, Мюріель Шиммер, VII Семінар з імплементації та застосування Директиви 2008/114/ЄС, Pubsy JRC72080
- [4] Серджіо Контіні, Вайдас Матузас, Аналіз великих дерев несправностей на основі функціональної декомпозиції, Надійність та безпека систем, Vol. 96, no. 3, 383-390
- [5] Георгіос Джаннопулос, Роберто Філіппіні, Мюріель Шиммер, Методології оцінки ризиків для захисту критичної інфраструктури. Частина I: Сучасний стан, EUR 25286
- [6] Соле, Р.В., Казальс, М.Р., Муртра, В.С., Вальверде, С. Стійкість європейських електромереж під час навмисних атак, Physical Review E, 77, 0206102, 2008
- [7] Трукко, П., Каньо, Е., Де Амброджі, М. Динамічне функціональне моделювання вразливості та інтеперабельності критично важливих інфраструктур, Інженерія надійності та системна безпека, 105,
- [8] Блумфілд, Р., Чозос, Н., Ноблз, П. Аналіз взаємозалежності інфраструктури: вимоги, можливості та стратегія, посилання на документ Аделарда: D/422/12101/4, 2009, [http://www.csr.city.ac.uk/projects/cetifs/d422v10 review.pdf](http://www.csr.city.ac.uk/projects/cetifs/d422v10%20review.pdf)
- [9] Юста, Я.М., Корреа, Г.Х., Лакал-Арантегі, Р. Методології та застосування для

захисту критичної інфраструктури: Сучасний стан, Енергетична політика, 39, 6100, 2011

- [10] Каркано, А., Колетта, А., Гульєльмі, М., Мазера, М., Най Фовіно, І., Тромбетта, А. Багатовимірний аналіз критичного стану для виявлення вторгнень в системах SCADA, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7, 179, 2011
- [11] Eusgeld, I., Nan, C., Dietz, S. System-of-systems approach for interdependent critical infrastructures, *Reliability Engineering and System Safety*, 96, 679, 2011
- [12] Мерабті, М., Кеннеді, М., Херст, В. Захист критичної інфраструктури: Виклик 21-го століття, Міжнародна конференція з питань комунікацій та інформаційних технологій, 2011 р.
- [13] Ді Мауро, К., Бушон, С., Логтмейєр, К., Прайд, Р.Д., Хартунг, Т., Нордвік, Я.П. Структурований підхід до визначення європейської критичної інфраструктури, *Міжнародний журнал критичної інфраструктури*, 6, 3, 277, 2010
- [14] Філіппіні, Р., Сілва. А. Аналіз стійкості мережевих систем систем на основі структурних і динамічних взаємозалежностей, Матеріали 11-ї Міжнародної конференції з імовірнісної оцінки та управління безпекою та Щорічної європейської конференції з безпеки та надійності, Curran Associates, Inc, ISBN 978-162-276- 436-5, 2012
- [15] Георгіос Джаннопулос, Роберто Філіппіні, Методологія оцінки взаємозалежності та стійкості для КІ, Pubsy 75761
- [16] Андерссон, Г. Моделювання та аналіз електроенергетичних систем, Лекція 227-0523- 00, Швейцарський федеральний технологічний інститут (ETH) Цюріх, 2008
- [17] Ріголе, Т., Деконінк, Г. Огляд моделювання та імітації взаємозалежних критично важливих інфраструктур, 3-й симпозіум молодих дослідників IEEE Venelux в галузі електроенергетики, Документ 44, 2006 р.

- [18] Уайльд, В.Д., Уоррен, М.Д. Візуалізація відмови критичної інфраструктури, Матеріали 9-ї австралійської конференції з інформаційної війни та безпеки, 48, 2008
- [19] Стівен М. Рінальді, Джеймс П. Перенбум, Терренс К. Келлі, Ідентифікація, розуміння та аналіз взаємозалежностей критичної інфраструктури, Журнал IEEE Control Systems, грудень 2001, стор. 11-25.
- [20] Берд, Б.Р., Стюарт, В.Е., Лайтфут, Е.Н. Транспортні явища, John Wiley & Sons, 2002
- [21] Оліва, Г., Панцієрі, С., Сетола, Р. Агентна модель взаємозалежності введення-виведення, Міжнародний журнал захисту критичної інфраструктури, 3, 76, 2010
- [22] Мін, Х.С., Байєлер, В., Браун, Т., Сон, Я.Д., Джонс, А. До моделювання та імітації критичних взаємозалежностей національної інфраструктури, IEEE Transactions, Vol. 39, No. 1, 57, 2007
- [23] Георгіос Джаннопулос, Івано Аззіні, Структурний аналіз мереж критичної інфраструктури, Pubsy Report JRC 78274, Люксембург: Офіс публікацій Європейського Союзу
- [24] Краусманн Е., Гіргін С., Інструмент швидкої оцінки ризиків та картування землетрусів від Natech: RAPID-N, Chemical Engineering Transactions, vol. 26, no 1, 93-98, 2012
- [25] Matlab 7.10.0 (R2010a), The Mathworks Inc., 2010
- [26] Сантос, Ж.Р., Хаймес, Ю.Ю. Моделювання зниження попиту на вхід-вихід (I-O) в результаті тероризму взаємопов'язаних інфраструктур, Аналіз ризиків, 24, 6, 1437, 2004 51, 2012
- [27] Йонкерен, О.Е., Оцінка потенційних методологій для аналізу (на мікрорівні) екологічних наслідків виходу з ладу інфраструктури, звіт Pubsy JRC 65993, Люксембург: Офіс публічних ліцензій Європейського

Союзу.

- [28] Леонт'єв В. В. Економіка "введення-виведення", *Sci Amer* 185, 4, 15-21, 1951
- [29] Леонт'єв В. В. Структура американської економіки, 1919-1939, 2-е видання, Видавництво Оксфордського університету, Нью-Йорк, 1951
- [30] Сантос Ж.Р., Хаймес Ю.Ю. Моделювання непрацездатності системи "введення-виведення" (I-O) через тероризм взаємопов'язаних інфраструктур, *Аналіз ризиків*, 24, 6, 1437-1451, 2004
- [31] Роуз А. З. Структура для аналізу сукупного економічного впливу терористичних атак та стихійних лих, *Журнал внутрішньої безпеки та управління в надзвичайних ситуаціях*, 6, 1, ст. 9, 2009 р.
- [32] Роуз А. З., Лім Д. Втрати від переривання бізнесу через природні загрози: концептуальні та методологічні питання у випадку землетрусу в Нортріджі, *Environmental Hazards*, 4, 1-14, 2002
- [33] Грінберг М., Хаас К., Кокс-молодший А., Лоурі К., Маккомас К., Норт В. Десять найважливіших досягнень в аналізі ризиків, 1980-2010 рр., *Аналіз ризиків*, 32, 5, 771- 781, 2012
- [34] Кроутер К.Г., Хеймс Ю.Ю. Застосування моделі непрацездатності "введення-виведення" (ІІМ) для оцінки системного ризику та управління взаємозалежними інфраструктурами, *Системна інженерія*, 8, 4, 323-341, 2005
- [35] [Баркер К., Хеймес Ю.Ю., Оцінка невизначеності в екстремальних подіях: Застосування до прийняття рішень на основі ризиків у взаємозалежних секторах інфраструктури, *Інженерія надійності та системна безпека*, 94, 819-829, 2009
- [36] Barker K., Haines Y.Y., Аналіз невизначеності взаємозалежностей у динамічному відновленні інфраструктури: Застосування в прийнятті рішень на основі ризиків, *Журнал інфраструктурних систем*, 15, 4, 394-405, 2009

- [37]Ліан К., Хеймес Ю.Ю., Управління ризиком тероризму для взаємозалежних інфраструктурних систем за допомогою динамічної моделі "вхід-вихід", Системна інженерія, 9, 3, 241-258.
- [38]Ліан К., Сантос Д.Р., Хеймес Ю.Ю. Аналіз екстремальних ризиків взаємозалежних економічних та інфраструктурних секторів, Аналіз ризиків, 27, 4, 1053-1064, 2007
- [39]Йонкерен, О.Е., Уорд, Д., Дорнеану, Б., Джаннопулос, Г. Взаємозалежності та економічна оцінка критичної інфраструктури в ЄС: Комбінована системна інженерно-економічна модель, Матеріали 11-ї Міжнародної конференції з імовірнісної оцінки та управління безпекою та Щорічної європейської конференції з безпеки та надійності, Curran Associates, Inc, ISBN 978-162-276-436-5, 2012 р.
- [40]Йонкерен, О., Дорнеану, Б., Джаннопулос, Г., Уорд, Д., Регіональна економічна оцінка виходу з ладу об'єктів критичної інфраструктури в ЄС: Комбінована системна інженерія та економічна модель, доповідь на конференції ERSA, номер ersa12p92.
- [41]Йонкерен, О., Уорд, Д. Моделювання економічних наслідків виходу з ладу інфраструктури ІКТ на підтримку політики захисту критичної інфраструктури, в: Болонья, С.; Терон, П. (ред.): Захист критичної інформаційної інфраструктури та стійкість в секторі ІКТ, IGI Global, готується до друку, 2013 р.
- [42]Роуз А. З., Економічна стійкість до природних та техногенних катастроф: Мультидисциплінарні витоки та контекстуальні виміри, Environmental Hazards, 7, 383-398, 2007
- [43]Haines, Y.Y., Horowitz, B.M., Lambert, J.H., Santos, J.R., Lian, C., Crowther, K.G. Inoperability input-output model for interdependent infrastructure sectors. I: Теорія та методологія, Журнал інфраструктурних систем, 11, 2, 67-79, 2005

- [44]Haimes, Y.Y., Horowitz, B.M., Lambert, J.H., Santos, J.R., Crowther, K.G., and Lian, C. Inoperability Input-Output Model for Interdependent Infrastructure Sectors. II: Тематичні дослідження, Журнал інфраструктурних систем, 11, 2, 80-92, 2005
- [45]Баркер К., Сантос Ж.Р. Вимірювання ефективності запасів за допомогою динамічної моделі "витрати-випуск", Міжнародний журнал економіки виробництва, 126, 130-143, 2010
- [46]Міллер Р. Е., Блер П. Д. Аналіз "витрати-випуск": Основи та розширення, 2-е видання, Cambridge University Press, Кембридж, 2009
- [47]Кроутер К.Г., Хеймес Ю.Ю. Розробка багаторегіональної моделі вхід-вихід непрацездатності (MRIIM) для просторової експліцитності готовності взаємозалежних регіонів, Системна інженерія, 13, 1, 28-46, 2010
- [48]Сетола Р., Де Порселлініс С., Сфорна М., Оцінка залежності критичної інфраструктури з використанням моделі непрацездатності "вхід-вихід", Міжнародний журнал захисту критичної інфраструктури, 2, 170-178, 2009
- [49]Oliva G., Panzieri S., Setola R. Fuzzy dynamic input-output inoperability model, [50]Міжнародний журнал захисту критичної інфраструктури, 4, 165-175, 2011
- [51]Orsi, M.J., Santos, J.R., Incorporating Time-Variable Perturbations Into the Dynamic Inoperability Input-Output Model, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans, 40, 1, 100-106., 2010
- [52]Рокко, С.К.М., Рамірес-Маркес, Х.Е., Салазар, А.Д.Е. Деякі метрики для оцінки вразливості складних мереж: Застосування до електроенергетичної системи, Досягнення в галузі безпеки, надійності та управління ризиками, Беренгер, Гралл та Гедеш Соарес, ISBN 978-0-415-689379-1, 2256, 20122012

Європейська Комісія

EUR 25745 EN - Спільний дослідницький центр - Інститут захисту та безпеки громадянина

Назва: Методологія оцінки ризиків для захисту критичної інфраструктури: Методологія оцінки ризиків для захисту критичної інфраструктури

Автори: Георгіос Джаннопулос, Богдан Дорнян Георгіос Джаннопулос, Богдан Дорняну, Олаф Йонкерен Люксембург: Офіс публікацій Європейського Союзу

2012 - 63 с. - 21,0 x 29,7 см

Серія EUR - Науково-технічні дослідження - ISSN 181-9424 (онлайн), ISSN 1018-5593 (друк)

ISBN 978-92-79-28181-5 doi:10.2788/78850

Анотація

Європейська програма захисту критичної інфраструктури є основним інструментом захисту критичної інфраструктури в Європі. Директива 2008/114/ЄС є законодавчим інструментом цієї програми. Оцінка ризиків є важливим елементом, який згадується в тексті Директиви. Однак, в Європі не існує узгодженої методології для оцінки взаємопов'язаних інфраструктур. Ця робота описує таку методологію та її застосування для оцінки критичної інфраструктури європейського виміру. Методологія враховує вплив на рівні об'єктів, оцінює поширення збою на мережевому рівні через взаємозалежності та оцінює економічні наслідки порушення роботи критичної інфраструктури на національному рівні.

Місія Об'єднаного дослідницького центру як внутрішньої наукової служби Комісії полягає в наданні політиці ЄС незалежної, науково обґрунтованої науково-технічної підтримки протягом усього політичного циклу.

Працюючи у тісній співпраці з генеральними директоратами, Об'єднаний дослідницький центр вирішує ключові суспільні виклики, стимулюючи інновації шляхом розробки нових стандартів, методів та інструментів, а також обміну та передачі своїх ноу-хау державам-членам та міжнародній спільноті.

Ключові сфери політики включають: навколишнє середовище і зміна клімату; енергетика і транспорт; сільське господарство і продовольча безпека; охорона здоров'я і захист прав споживачів; інформаційне суспільство і цифровий порядок; безпека і захищеність, включаючи ядерну; всі ці сфери підтримуються на основі міждисциплінарного підходу.

