



DOI 10.28925/2663-4023.2025.28.819

УДК 614.8, 004.9

Смалій Василь Вікторович

науковий співробітник

Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, Київ, Україна

ORCID ID: 0000-0002-1484-7216

vasylsmalii@gmail.com**Бегун Василь Васильович**

Д.т.н., доцент, завідувач відділом Інтегрованих автоматизованих систем спеціального призначення

Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, Київ, Україна

ORCID ID: 0000-0002-0045-8586

bequnw@ukr.net

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ БЕЗПЕКИ: АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ І ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Анотація. Постійне зближення густої забудови і об'єктів підвищеної небезпеки хімічної промисловості спричиняють підвищений ризик ураження людей небезпечними факторами аварій. Мінімізація ризику є однією із головних задач ризик-менеджменту. Без застосування інформаційних технологій безпеки (ІТБ) практично неможливо здійснювати кількісний аналіз ризику структурно складних хіміко-технологічних об'єктів, які можуть містити десятки джерел небезпеки, кожне з яких може являти собою апарат зі складно передбачуваною поведінкою: ємність, реактор, сепаратор та ін. Дослідження демонструють поступовий відхід від стаціонарних моделей витоку з хімічним псевдо-компонентом до динамічного моделювання викиду з урахуванням багатокомпонентних сумішей і фазовою рівновагою. Однак чи відповідають наявні на ринку ІТБ рівню розвитку науки про техногенну безпеку? Ретельний аналіз наявної у відкритому доступі інформації стосовно комерційних і безкоштовних програмних продуктів у галузі промислової безпеки демонструє спектр невирішених методичних і функціональних задач, які значно спотворюють оцінки викидів небезпечних речовин, що може призвести як до переоцінки так і недооцінки показників ризиків. Виявлені такі проблеми, як поширене застосування стаціонарних моделей, заміну сумішей псевдо-компонентами, низький рівень автоматизації і нестача документації, яка б обґрунтовувала методичну базу програмних продуктів. На основі виконаного аналізу були запропоновані основні вимоги до ІТБ сучасного рівня і розроблено архітектуру елементу ІТБ, який дозволяє застосовувати ланцюги моделей (автоматизована схема розрахунку) і враховує здатність моделей розглядати багатокомпонентні суміші з фазовою рівновагою на кожному етапі процесу аварійної розгерметизації, що потенційно значно підвищує точність отримуваних результатів прогнозу наслідків аварії і знижує час експерта на виконання поставленого завдання.

Ключові слова: інформаційна технологія; аналіз ризиків; техногенна безпека; багатокомпонентна суміш; фазова рівновага; програмне забезпечення; архітектура програмного забезпечення.

ВСТУП

Постановка проблеми. Структурно складні хіміко-технологічні об'єкти підвищеної небезпеки стають все поширенішими у світі і дедалі частіше розташовуються поблизу густої забудови, створюючи підвищені ризики виникнення аварійних ситуацій [1]. Мінімізація таких ризиків є основною задачею менеджменту ризику [2]. Стає зрозумілим, що для великих об'єктів кількість джерел небезпеки може сягати декількох десятків. Кожне джерело у свою чергу може представляти собою хімічний апарат зі



складними умовами фазової рівноваги і багатокомпонентними сумішами. Обчислювати наслідки таких об'єктів стає практично неможливо без застосування спеціалізованих інформаційних технологій безпеки (ІТБ), які побудовані на ідеології кількісного аналізу ризику (QRA) [3].

На ринку наявні ІТБ, які дозволяють виконувати оцінку початкових умов формування аварійних ситуацій при викидах небезпечних речовин у навколишній простір, однак мають в основі спрощені математичні моделі з псевдо-компонентом у якості заміни багатоконпонентної суміші і у деяких випадках лише стаціонарні моделі. Водночас, дослідження все більше наголошують на суттєвому впливі складу багатоконпонентної суміші, умов фазової рівноваги і динамічної природи процесу розгерметизації на наслідки аварійного викиду [4] – [6]. Підхід, заснований на багатоконпонентних сумішах, дозволяє на відміну від псевдо-компонентного або однокомпонентного підходів здійснювати більш точну оцінку фізико-хімічних параметрів суміші, розглядати двофазні рівноважні системи, враховувати суттєву різницю у складі рівноважних парової і рідкої фаз.

Отже, постає актуальне завдання систематичного дослідження переваг і недоліків наявних на ринку ІТБ з метою виявлення шляхів вдосконалення як методичної так і програмно-аналітичної баз і подальшої інтеграції оновлених методів прогнозування наслідків аварій на об'єктах хімічного і нафтохімічного секторів в оновлену ІТБ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Комерційний програмний комплекс Phast & Safeti норвезької компанії DNV [7], [8] дозволяє розглядати розгерметизацію ємнісного обладнання, трубопроводів, випаровування виливів. Також забезпечується неповна автоматизація передачі даних між модулями і можливість побудови примітивної схеми розрахунку у вигляді списку. Phast може розглядати багатоконпонентні суміші і враховувати фазову рівновагу в апараті під час розгерметизації [9]. Вагомими недоліками продукту Phast є неврахування фазового переходу перегрітої рідини під час її потрапляння до навколишнього середовища, а також неможливість застосування моделювання ємнісного апарата у разі відхилень технологічних параметрів на етапі сесії HAZOP з метою виявлення граничних умов настання розгерметизації [9]. Наповненість бази даних (БД) фізико-хімічних властивостей речовин є малою і складає 103 речовини [10]. Не враховується адитивний ефект декількох одночасно діючих джерел викиду. З точки зору інтерфейсу користувача і функціоналу основними недоліками Phast є нездатність побачити взаємозв'язки між модулями розрахункової схеми (мають вигляд простого вкладеного списку), неможливість побачити склад суміші, що розсіюється і неможливість приєднати модуль випаровування багатоконпонентного виливу в автоматизовану схему розрахунку для багатоконпонентної суміші [11].

Доволі відомою інформаційною технологією QRA є безкоштовне американське ПЗ ALOHA [12]. Програма дозволяє враховувати сценарії розриву оболонки апарата або витоку через аварійний отвір. Реалізована динамічна модель витоку через аварійний отвір. Врахована зміна положення рівня рідкої фази відносно відмітки аварійного отвору з часом, що адекватно впливає на інтенсивність викиду [13]. З іншого боку ALOHA повторює перелічені вище недоліки Phast, відсутнє моделювання з урахуванням багатоконпонентних сумішей, а функціонал є набагато більш мінімалістичним [12].

Продукт FLACS (FLame ACceleration Simulator) компанії GEXCON представляє собою середовище CFD-моделювання поширення небезпечних речовин у навколишньому середовищі з подальшою реалізацією уражаючих факторів [14]. ПЗ має здатність враховувати багатоконпонентний склад суміші речовин, однак модель витоку стаціонарна [15].



Робота [16] присвячена питанню моделювання витоку небезпечних речовин через аварійний отвір із застосуванням симулятора хіміко-технологічних процесів UNISIM. Показана необхідність поступового переходу на динамічні моделі апаратів в ІТБ.

У роботах [17], [18] було застосовано комп'ютерний код DYNHAZ, який побудований на динамічних математичних моделях хіміко-технологічного обладнання, такого, як ємності, реактори і має інтегроване середовище для автоматизованого застосування управляючих слів процедури HAZOP до параметрів процесу. Однак ПЗ DYNHAZ неможливо знайти у вільному доступі, чи на комерційній основі, а матеріали стосовно моделей і інтерфейсу програмного середовища відсутні, що унеможлиблює подальший аналіз застосовності цього коду як повноцінного інструмента експерта.

Інформаційна технологія BREEZE Incident Analyst американської компанії Trinity [19] дозволяє здійснювати моделювання аварійних викидів із врахуванням багатокомпонентних сумішей, фазової рівноваги. Однак у ПЗ відсутня можливість врахування підведених до аварійної ємності потоків. Чи моделюється динамічний процес аварійного викиду виявити не вдалося. Існує певна автоматизація передачі даних, можливість побудови довільних ланцюжків розрахункових модулів відсутня.

На підставі виконаного вище аналізу ПЗ, загальною для всіх продуктів невирішеною методичною задачею є неврахування сумарного (адитивного) ефекту декількох джерел емісії газоподібних речовин у атмосферу під час реалізації одного аварійного сценарію. Невирішеною загальною функціональною задачею є нереалізованість можливості створення достатньої для виконання розрахунку процесу розгерметизації схеми розрахунку за участю багатокомпонентних сумішей на основі бібліотеки модулів і можливості встановлювати зв'язки між модулями для забезпечення автоматизації передачі даних.

Мета статті. Сформулювати загальні вимоги до ІТБ і концепт її архітектури з урахуванням невирішених на даний момент методичних і функціональних задач.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сучасна ІТБ має відповідати певному рівню автоматизації і гнучкості середовища, яке дозволяє експерту виконувати широкий спектр задач у короткі терміни. Такі вимоги у загальному вигляді представлені на рис. 1.



Рис. 1. Загальні вимоги до інформаційної технології безпеки

На нашу думку, одним з найкращих підходів може бути можливість побудови довільної схеми розрахунку експертом з автоматизованою передачею даних між модулями, як було частково реалізовано у Phast (DNV) [7], [8]. Допускається, що експерт за допомогою розробленого ПЗ матиме здатність обирати з бібліотеки необхідні розрахункові модулі, візуально впорядковувати їх і поєднувати специфічними для цих модулів зв'язками, що забезпечують автоматизовану передачу даних між модулями. Така розрахункова схема представлятиме собою однонаправлений граф, а отже явно характеризуватиме порядок виконання модулів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результат синтезу концептуальної схеми архітектури ІТБ з урахуванням перелічених вище вимог і рекомендацій наведено на рис. 2.

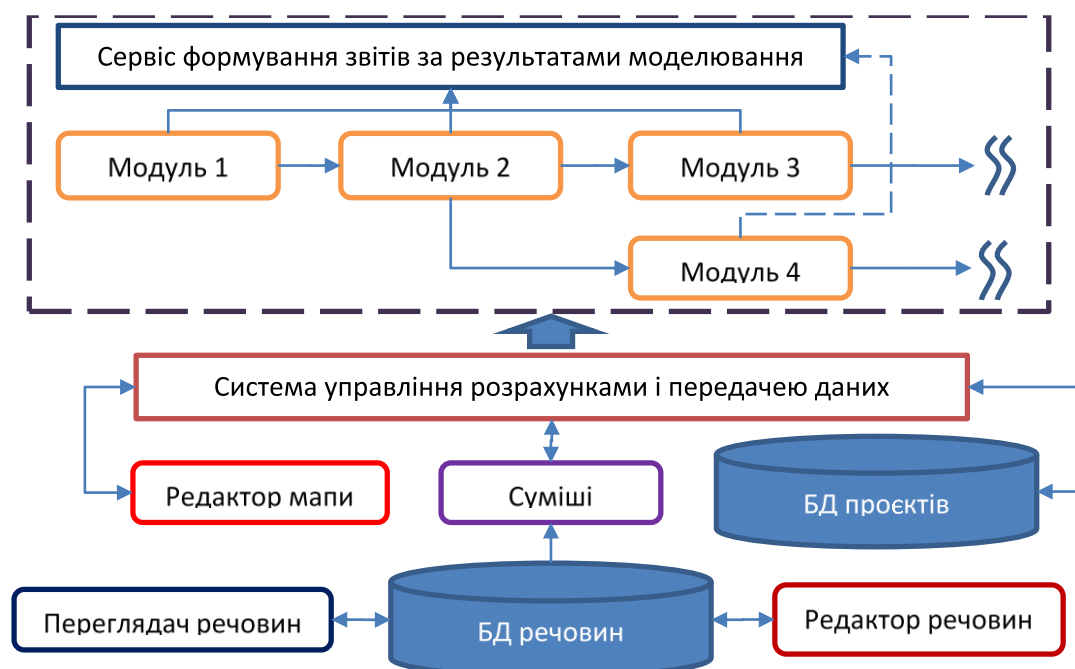


Рис. 2. Концептуальна схема елементу архітектури інформаційної технології безпеки, яка забезпечує автоматизацію передачі даних і гнучкість застосування

Після того, як експерт розмістив на робочому полі набір модулів (Модулі 1 – 4, рис. 2) і поєднав їх потоками інформації, що передається послідовно від одного модуля до іншого, розрахункова схема проєкту QRA сформована. Оскільки джерела небезпеки певним чином розміщені на території об'єкту підвищеної небезпеки, експерт має можливість за допомогою модуля Редактор мапи (рис. 2) розмістити аварійні резервуари на карті-підкладинці, і, разом вказати параметри реципієнтів, які можуть бути у зоні ураження під час реалізації аварійної ситуації.

Модуль Суміші відіграє ключову роль під час конфігурації багатокомпонентних сумішей, що беруть участь у розрахунках, і пов'язаний як з БД фізико-хімічних властивостей речовин, так і з системою управління розрахунками і передачею даних



(СУРПД). У свою чергу СУРПД забезпечує передачу даних між модулями, відслідковуючи при цьому ступінь їх виконання, щоб уникнути критичних помилок під час роботи програми. Також СУРПД відповідає за збереження налаштувань проєкту і результатів розрахунків до БД проєктів. Сервіс формування звітів за результатами моделювання містить інтерфейс, який дозволяє експерту отримати доступ до результатів розрахунків і спряжений з СУРПД програми. Модулі Переглядач речовин і Редактор речовин (рис. 2) забезпечують доступ до БД речовин, і, відповідно, виключно перегляд даних, що стосуються речовин, або і перегляд і редагування даних.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

На основі аналізу сучасного ПЗ у галузі QRA, було виявлено основні невирішені загальні методичні і функціональні задачі, серед яких є неврахування суматійного (адитивного) ефекту декількох джерел емісії газоподібних речовин у атмосферу під час реалізації одного аварійного сценарію і нереалізованість можливості створення достатньої для виконання розрахунку процесу розгерметизації схеми розрахунку за участю багатокомпонентних сумішей на основі бібліотеки модулів і можливості встановлювати зв'язки між модулями для забезпечення автоматизації передачі даних.

У результаті формалізації основних вимог до ІТБ сучасного рівня розвитку з урахуванням невирішених задач, було сформульовано основні вимоги до функціоналу і побудована концептуальна схема архітектури ІТБ для прогнозування початкових умов формування аварійних ситуацій. Така архітектура елемента ІТБ дозволяє застосовувати ланцюги моделей (автоматизована схема розрахунку) і враховує здатність моделей розглядати багатокомпонентні суміші з фазовою рівновагою на кожному етапі процесу аварійної розгерметизації, що потенційно підвищує точність отримуваних результатів прогнозу наслідків аварії і знижує час експерта на виконання поставленого завдання.

Подальші дослідження будуть зосереджені на створенні методичної бази, яка включатиме у себе необхідний перелік верифікованих моделей, на основі яких може бути розроблено частину ІТБ, яка відповідає за розрахунок динаміки процесу аварійної розгерметизації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Gant, S. E., & Tucker, H. (2018). Computational Fluid Dynamics (CFD) modelling of atmospheric dispersion for land-use planning around major hazards sites in Great Britain. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 54, 340–345. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.03.015>
2. IEC 31010:2019. Risk management — Risk assessment techniques. (First edition 01.07.2019). <https://www.iso.org/standard/72140.html>
3. Begun, V.V. (2020). *Metodolohichni osnovy informacijnoy tehnolohii upravlinya bezpekoju na osnovi rizik-orijentovanoho pidhodu (Methodological basis of information technology of safety management based on risk-oriented approach)*: dissertation ... D-r tech. sciences: 05.13.06 / Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv. http://www.immsp.kiev.ua/postgraduate/Dysertaciji/dis_Begun_2020.pdf
4. Witlox, H. W. M., et al. (2006). Modelling the consequence of hazardous multi-component two-phase releases to the atmosphere. American Society of Safety Engineers. Middle East Chapter. 7-th Professional Development Conference & Exhibition, Kingdom of Bahrain, 151. <https://www.icheme.org/media/9803/xix-paper-15.pdf>
5. Stene, J., Harper, M., & Henk, W. M. W. (2016). Modelling Transient Leaks of Multi-Component Fluids Including Time-Varying Phase Composition. *Chemical Engineering Transactions*, 48, 169–174. <https://doi.org/10.3303/CET1648029>



6. Smalii V., & Tolok E. (2022). Model of multicomponent liquid pool evaporation formed due accidental spills. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2(26), 122–132. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2022-2\(26\)-122-132](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2022-2(26)-122-132)
7. *Consequence analysis with Phast*. DNV. (n. d.). <https://www.dnv.com/software/services/plant/consequence-analysis-phast>
8. *Quantitative risk analysis with Safeti software tools*. (n. d.). DNV. <https://www.dnv.com/software/services/plant/quantitative-risk-analysis-safeti/>
9. *Phast Multi-Component Extension - Atmospheric dispersion modelling software*. (n. d.). DNV. <https://www.dnv.com/Default>
10. *How to use the new methods in Safeti 8.4 for storing the risk results database*. (n. d.). DNV. <https://www.dnv.com/videos/how-to-upgrade-custom-materials-to-phast-safeti-8-4-195033/>
11. *How to create a CFD dispersion source scenario from a classic scenario in Phast 9.0*. (n. d.). DNV. <https://www.dnv.com/videos/how-to-run-multiple-cfd-scenarios-in-phast-9-0-25082632/>
12. *US EPA O. ALOHA Software*. (2013). <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>
13. Department of Commerce/National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (n. d.). *The Bulletin of the Ecological Society of America*, 67(1), 16–19. <https://doi.org/10.2307/20166482>
14. *FLACS Software*. (n. d.). <https://www.gexcon.com/us/products-services-index/FLACS-Software/4/en>
15. Zappone M. *Validation of FLACS CFD code for risk assessment of propane horizontal jet fires: Bachelor thesis*. Universitat Politècnica de Catalunya. (2021). <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/345183>
16. Crowley, C. (n. d.). Review of Source Term Modelling for Hydrocarbon Releases using Process Dynamic Simulation. *HAZARDS* 25, 1–10.
17. Labovský, J., Švandová, Z., & Markoš, J. et al. (2007). Model-based HAZOP study of a real MTBE plant. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 20(3), 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2007.03.015>
18. Jelemenský, Ľ. (2006). Safety analysis and risk identification for a tubular reactor using the HAZOP methodology. *Chemical Papers*, 60(6), 454–459.
19. *BREEZE Incident Analyst | Trinity Consultants*. (n. d.). <https://www.trinityconsultants.com/software/hazard/incident-analyst>

**Vasyl Smalii**

Research Associate

Institute of Mathematical Machines and Systems Problems NASU, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-1484-7216

vasylsmalii@gmail.com**Vasilij Begun**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,

Head of the Department of Integrated Automated Systems for Special Purposes

Institute of Mathematical Machines and Systems Problems NASU, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-0045-8586

begunw@ukr.net**ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF SAFETY INFORMATION TECHNOLOGIES: RELEVANT CHALLENGES AND WAYS TO SOLVE THEM**

Abstract. The constant convergence of dense buildings and high-risk chemical industry facilities causes an increased risk of human exposure to hazardous accident factors. Risk minimization is one of the main tasks of risk management. Without the use of safety information technologies (SIT), it is virtually impossible to quantify the risk of structurally complex chemical and technological facilities that may contain dozens of hazard sources, each of which may be an apparatus with a difficult to predict behavior: a tank, reactor, separator, etc. Studies demonstrate a gradual shift from steady-state leakage models with a chemical pseudo-component to dynamic modeling of releases with multicomponent mixtures and phase equilibrium. However, do the SITs available on the market correspond to the level of development of the science of industrial safety? A thorough analysis of the publicly available information on commercial and free software products in the field of industrial safety demonstrates a range of unresolved methodological and functional problems that significantly distort estimates of hazardous substances releases, which can lead to both overestimation and underestimation of risk indicators. Such problems as the widespread use of stationary models, replacement of mixtures with pseudo-components, low level of automation and lack of documentation that would substantiate the methodological basis of software products were identified. Based on the analysis, the basic requirements for a state-of-the-art SIT were proposed and the architecture of the ITB element was developed, which allows the use of model chains (automated calculation scheme) and takes into account the ability of models to consider multicomponent mixtures with phase equilibrium at each stage of the emergency depressurization process, which potentially significantly increases the accuracy of the results of the accident consequences forecast and reduces the time of the expert to complete the task.

Keywords: information technology; risk analysis; technogenic safety; multicomponent mixture; phase equilibrium; software; software architecture.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Gant, S. E., & Tucker, H. (2018). Computational Fluid Dynamics (CFD) modelling of atmospheric dispersion for land-use planning around major hazards sites in Great Britain. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 54, 340–345. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.03.015>
2. IEC 31010:2019. Risk management — Risk assessment techniques. (First edition 01.07.2019). <https://www.iso.org/standard/72140.html>
3. Begun, V.V. (2020). *Metodolohichni osnovy informacijnoy tehnolohii upravlinya bezpekoju na osnovi rizik-orijentovanoho pidhodu (Methodological basis of information technology of safety management based on risk-oriented approach): dissertation ... D-r tech. sciences: 05.13.06* / Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv. http://www.immsp.kiev.ua/postgraduate/Dysertaciji/dis_Begun_2020.pdf
4. Witlox, H. W. M., et al. (2006). Modelling the consequence of hazardous multi-component two-phase releases to the atmosphere. American Society of Safety Engineers. Middle East Chapter. *7-th Professional*



- Development Conference & Exhibition, Kingdom of Bahrain, 151. <https://www.icheme.org/media/9803/xix-paper-15.pdf>
5. Stene, J., Harper, M., & Henk, W. M. W. (2016). Modelling Transient Leaks of Multi-Component Fluids Including Time-Varying Phase Composition. *Chemical Engineering Transactions*, 48, 169–174. <https://doi.org/10.3303/CET1648029>
 6. Smalii V., & Tolok E. (2022). Model of multicomponent liquid pool evaporation formed due accidental spills. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2(26), 122–132. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2022-2\(26\)-122-132](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2022-2(26)-122-132)
 7. *Consequence analysis with Phast*. DNV. (n. d.). <https://www.dnv.com/software/services/plant/consequence-analysis-phast>
 8. *Quantitative risk analysis with Safeti software tools*. (n. d.). DNV. <https://www.dnv.com/software/services/plant/quantitative-risk-analysis-safeti/>
 9. *Phast Multi-Component Extension - Atmospheric dispersion modelling software*. (n. d.). DNV. <https://www.dnv.com/Default>
 10. *How to use the new methods in Safeti 8.4 for storing the risk results database*. (n. d.). DNV. <https://www.dnv.com/videos/how-to-upgrade-custom-materials-to-phast-safeti-8-4-195033/>
 11. *How to create a CFD dispersion source scenario from a classic scenario in Phast 9.0*. (n. d.). DNV. <https://www.dnv.com/videos/how-to-run-multiple-cfd-scenarios-in-phast-9-0-25082632/>
 12. *US EPA O. ALOHA Software*. (2013). <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>
 13. Department of Commerce/National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (n. d.). *The Bulletin of the Ecological Society of America*, 67(1), 16–19. <https://doi.org/10.2307/20166482>
 14. *FLACS Software*. (n. d.). <https://www.gexcon.com/us/products-services-index/FLACS-Software/4/en>
 15. Zappone M. *Validation of FLACS CFD code for risk assessment of propane horizontal jet fires: Bachelor thesis*. Universitat Politècnica de Catalunya. (2021). <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/345183>
 16. Crowley, C. (n. d.). Review of Source Term Modelling for Hydrocarbon Releases using Process Dynamic Simulation. *HAZARDS* 25, 1–10.
 17. Labovský, J., Švandová, Z., & Markoš, J. et al. (2007). Model-based HAZOP study of a real MTBE plant. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 20(3), 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2007.03.015>
 18. Jelemenský, L. (2006). Safety analysis and risk identification for a tubular reactor using the HAZOP methodology. *Chemical Papers*, 60(6), 454–459.
 19. *BREEZE Incident Analyst | Trinity Consultants*. (n. d.). <https://www.trinityconsultants.com/software/hazard/incident-analyst>

