

В.А. Цопа¹, С.І. Чеберячко², О.В. Дерюгін², Н.С. Сушко², О.П. Шароватова³

¹Міжнародний інститут менеджменту, Україна

²Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна

³Національний університет цивільного захисту України, Україна

АНАЛІЗ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИХ ЗАВ'ЯЗКІВ У ХРОНОЛОГІЇ ПОДІЙ КАТАСТРОФИ НА БАЙКОНУРІ

Запропоновано оцінку професійного ризику на основі моделі «Краватка-Метелик». Побудовано моделі для оцінки небезпек, описано ризики й обґрунтовано причинно-наслідкові взаємозв'язки між відомими подіями й умовами прояву негативних факторів у хронології подій, які збільшили кількість загиблих і призвели до катастрофи на Байконурі.

Ключові слова: катастрофа, небезпека, причинно-наслідкові зв'язки, ризик небезпеки.

Постановка проблеми

Виявлення причин катастроф, надзвичайних ситуацій, інцидентів виступає необхідною умовою для уникнення подібних ситуацій у майбутньому. Відтак, виникає потреба у встановленні причинно-наслідкових зв'язків між небезпекою, небезпечною подією та наслідками, що дозволяє переосмислити ситуацію та розробити або вдосконалити відповідні рекомендації для безпечного здійснення виробничої діяльності. Особливо це стосується ракетобудівної галузі.

Так, створення міжконтинентальних балістичних ракет проходить у декілька етапів: розробка, випробування, доробка, підготовка та експлуатація ракетного обладнання, дуже складного та потужно небезпечного [1, 2]. У процесі робіт кожна помилка та нехтування небезпекою можуть призвести до великих втрат життя та здоров'я працівників, інших людей, великих матеріальних, фінансових і репутаційних збитків.

Враховуючи, що методи теорії катастроф постійно вдосконалюються, виникає необхідність у поверненні до деяких історичних негативних подій, аналіз яких сприятиме виявленню нових підстав, фактів, наслідків, що оновлять сутність виникнення надзвичайної ситуації, і дозволить керівникам, спеціалістам та працівникам будь-якої галузі, об'єднання, підприємства чи організації приймати безпекові рішення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Причини Катастрофи Неделіна були розглянуті у декількох наукових статтях [3-5]. Так, автори публікації [3] задалися питанням історичного аналізу подій, які призвели до вибуху ракети Р-16 та визначили, що основною причиною стало грубе

недотримання процедур безпеки, що було продиктоване вимогою керівництва країни у прискореному запуску ракети. У той же час було показано, що прийняті рішення щодо запуску ракети були зроблені без належного обмірковування та забезпечення відповідними заходами з ліквідації надзвичайних ситуацій. Це свідчить про відсутність розуміння у керівників, які відповідали за запуск ракети, загрози ситуації. У наступній публікації [4] автори, використовуючи архівні матеріали із розробки та запуску ракети під кодовою назвою N-1, ввели поняття феномену «великої науки», яка характеризується ризикованістю, конкуренцією та безладдям, що призводить до важких наслідків. Ще в одній публікації [5] підняте питання щодо впливу на управління безпекою культурних та політичних цінностей. Автори, на основі дослідження літературних джерел та хронології подій, провели інтерпретаційний аналіз із виявлення основних факторів, що сприяли страшній трагедії.

Формулювання мети статті

Мета даного дослідження полягає у виявленні причинно-наслідкових зв'язків у хронології подій, які призвели до «Катастрофи Неделіна».

Матеріали і методи дослідження

Оцінку професійного ризику небезпек пропонується проводити на основі моделі «Краватка-Метелик» [6, 7], яка являє собою схематичний спосіб опису й аналізу шляхів розвитку небезпечної події від причин до наслідків поєднанням «дерева відмов» і «дерева подій». Ця модель має чи не найпоширеніше застосування через її зручність і простоту представлення

причинно-наслідкового зв'язку між небезпекою, небезпечною подією та наслідками. Причому її візуалізація допомагає наочно продемонструвати процес керування професійними ризиками шляхом визначення кількості бар'єрів (захисних чи запобіжних заходів), що встановлюються на шляху між небезпекою і небезпечною подією та небезпечною подією і наслідками. Кількість бар'єрів дає змогу, з одного боку, встановити кошторис запобіжних та захисних заходів з охорони праці, а з іншого - вплинути на ймовірність настання небезпечної події. Для визначення останньої застосовується принцип «As low as reasonably practicable» (ALARP), який базується на тому, що залишковий рівень ризику має бути зменшений настільки, наскільки це практично можливо [8].

Особливістю представленої моделі (рис. 1) є можливість врахування впливу всіх зовнішніх та внутрішніх небезпечних чинників, що збільшують ймовірність появи небезпечної події та (або) важкості наслідків в системі управління системою охорони здоров'я і безпекою праці (далі - СУОЗіБП) відповідно до вимог пункту 6.1 Міжнародного стандарту ISO 45001:2019, де вказується на необхідність аналізу небезпек внутрішнього та зовнішнього середовища організації.

Ракета Р-16 має два ступені, її довжина 30,44-34,3 м, діаметр 3 м, використовує паливо несиметричний диметилгідразин / інгібовану азотну кислоту, стартова маса 140,6-141,2 т, вага, яку вона виводить на орбіту: 1475-2200 кг.

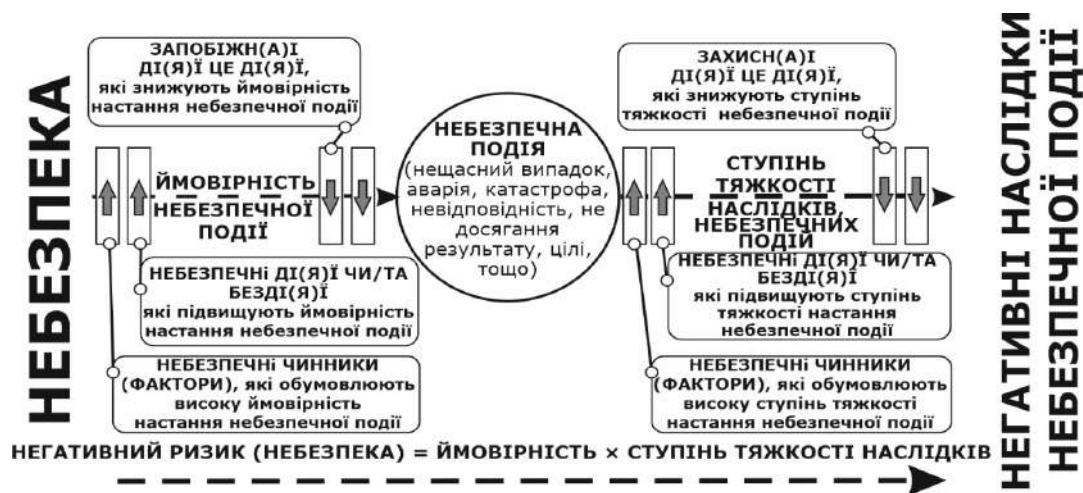


Рис. 1. Модель керування професійним ризиком за зміни чинників зовнішнього та внутрішнього середовища організації в часі

Виклад основного матеріалу

Хронологія подій. 24 жовтня 1960 року, понад 60 років тому, на Байконурі сталася найстрашніша і найбільша за кількістю жертв катастрофа в ракетно-космічній галузі Радянського Союзу та світі. Під час випробування радянська міжконтинентальна балістична ракета Р-16 вибухнула на старті під час підготовки до запуску. Загибло від 78 осіб (за офіційною інформацією) до 124 осіб (за неофіційною інформацією) [9].

Аналіз причинно-наслідкових зв'язків виникнення катастрофи потребує дослідження передумов, які певною мірою сприяли появі додаткових небезпечних чинників, що зумовили описану катастрофу. Отже, в середині двадцятого сторіччя виникла холодна війна між країнами НАТО, США та Радянським Союзом (далі - СРСР), що призвело до бурхливого розвитку ракетобудування. У середині 50-х років минулого сторіччя на озброєнні СРСР було три типи

стратегічних ракет - Р-5, Р-12 і Р-7. На жаль, потужність ракет Р-5 і Р-12 була занадто низькою, щоб долетіти до території Сполучених штатів Америки. У той же час, хоча ракета Р-7 і могла б теоретично досягти зазначену ціль, але мала суттєвий недолік: занадто довгу підготовку до пуску - 32 години. Ця проблема виникла через застосування криогенних компонентів палива у двигунах, яке потребувало рідкого кисню. До того ж, ракета у заправленому стані не могла знаходитись більше 8 годин, що призводило до купи вартісних процедур. На це вказував той факт, що у СРСР було розгорнуто тільки шість пускових установок для ракети Р-7. На відміну від СРСР, у США мали на бойовому чергуванні 40 міжконтинентальних балістичних ракет, спрямованих проти СРСР. Крім того, в інших країнах НАТО додатково було розгорнуто стратегічні ракети середньої дальності, що також не додавало оптимізму керівництву СРСР. Це створювало реальну загрозу для СРСР і вимагало від

керівництва країни відповідних дій щодо зменшення ризику (рис. 2), що полягало у нарощуванні

угруповування міжконтинентальних ракет з новими тактико-технічними характеристиками.



Рис. 2. Модель ризику небезпеки у разі виникнення небезпечної умови – відсутності ядерного паритету між США та СРСР

Таким чином виник запит на розвиток конструкторських бюро для проектування і будівництва ракет, що зумовило створення українського ОКБ-586 на чолі з головним конструктором М.К. Янгелем у м. Дніпропетровську (нині – м. Дніпро). Основною ініціативою створення ракет в ОКБ-586 стала пропозиція використання в ракетних двигунах висококиплячих компонентів:

несиметричний диметилгідрозин плюс азотний тетраоксид [10]. Це призвело до створення нової ракети Р-16. У той же час, вказані інгредієнти для пального характеризувались значною небезпекою – самозайманням, що збільшувало ймовірність пожежі ракети Р-16 під час її підготовки до запуску (рис. 3).

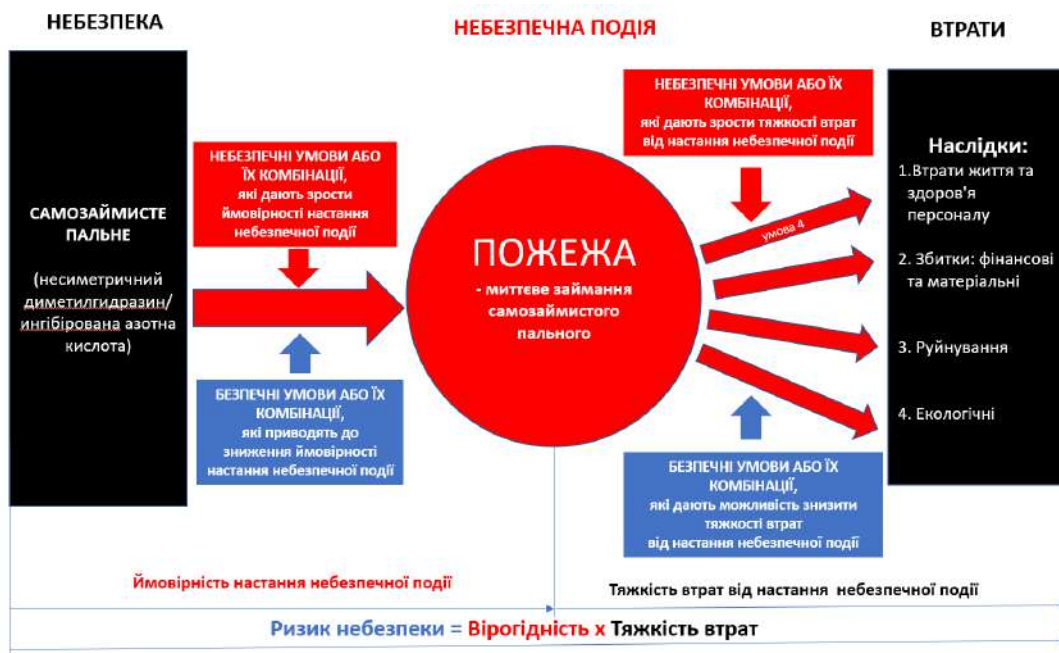


Рис. 3. Модель ризику небезпеки від самозаймистого та токсичного палива

Для зниження згаданого ризику необхідно було б розробити інструкції з безпеки робіт із самозаймистим та токсичним паливом. Однак, як відомо, власник ризику – головний конструктор ракети - не передбачив таку необхідність. Крім того, аналіз історичних подій з підготовки випробувань ракети Р-16 і її транспортування, затвердження

складу державної комісії, підготовка до пуску, а також політичні події, які відбувались у жовтні 1960 року, створювали додаткові загрози і небезпеки (табл. 1), які, на жаль, чомусь ніхто не враховував. І така сукупність подій вказувала на те, що ймовірність аварії значно зростає.

Таблиця 1

Причинно-наслідковий зв'язок переростання небезпек у небезпечні події з їх наслідками – втратами

Час, інформація про рішення та дії	Опис ризику: небезпека, небезпечна подія, наслідки небезпечної події	Рішення та дії щодо керування ризиком
1	2	3
26 вересня 1960 року на полігон Тюратам (Байконур) прибула перша ракета Р-16 як виріб 8К64 № ЛД1-ЗТ	Небезпека (під час транспортування): механічні удари, підвищена температура. Небезпечна подія: несправність технічних систем. Наслідки небезпечної події: створення небезпечних умов під час запуску ракети	Умови ризику змінилися. Підвищився ризик виникнення несправності під час транспортування. Висновок щодо ризику: ризик імовірності поломки знизився за рахунок безпечних дій: навантаження, транспортування та вивантаження ракетних систем. Власник ризику: головний конструктор ракети Р-16.
Затверджено склад держкомісії з проведення льотних випробувань МБР Р-16. Головою комісії призначено маршала М.І. Неделіна, головним технічним керівником випробувань - М.К. Янгеля.	Небезпека: (організаційна) психологічний тиск та стрес у керівників льотних випробувань М.І. Неделіна й головного технічного керівника випробувань М.К. Янгеля від керівництва країни, які вимагали прискорити випробування. Небезпечна подія: керівники льотних випробувань ракети Р-16 приймають небезпечні рішення. Наслідки небезпечної події: небезпечні умови зростання ризику катастрофи.	Умови ризику змінилися. Психологічний тиск та стрес у керівників льотних випробувань. Висновок щодо ризику: ризик імовірності настання катастрофи унаслідок прийняття небезпечних рішень з боку керівників льотних випробувань ракети Р-16 підвищується. Власники ризику: керівники льотних випробувань маршал М.І. Неделін та головний конструктор М.К. Янгель.
12 жовтня 1960 року. Виступ з виразом «kuz'kina mother» М.С. Хрущова на 15-й Асамблеї ООН. Перекладачі надалі замінили його на іншу погрозу, яку М.С. Хрущов використовував щодо Заходу: «Ми вас поховаємо».	Небезпека (воєнно-політична): 40 МБР з ядерними боєголовками США націлені на СРСР, вони за бойовими характеристиками кращі за 4 радянські ракети Р-7, які націлені на США. Небезпечна подія: ракетно-ядерна атака на РС без змоги адекватної відповіді. Наслідки небезпечної події: великі людські жертви, матеріальні збитки та втрата влади.	Умови ризику змінилися. Заява від радянського уряду та вищих політичних керівників: ми маємо чим відповісти на ядерну ракетну атаку території СРСР. Висновок щодо ризику: ризик цієї воєнно-політичної небезпеки високий. Власник ризику: найвищі політичні керівники та уряд РС.

Продовження табл. 1

1	2	3
20 жовтня 1960 року завершено роботи з підготовки випробувань, які велись у дві зміни і вдень (пробні випробування), і вночі (доопрацювання вузлів конструкції).	Небезпека (організаційна): робота персоналу вночі з доробки деталей та вузлів ракети створює умови для помилок. Небезпечна подія: помилки персоналу. Наслідки небезпечної події: підвищення ризику небезпечної події – катастрофи.	Висновок щодо ризику: ризик настання катастрофи підвищився через роботу персоналу вночі з доробки деталей та вузлів ракети створює умови для помилок. Власники ризику:
21 жовтня 1960 року ракету вивезено з монтажно-випробувального комплексу та доправлено на 41-ий майданчик біля ракети поставили пожежну машину та бак з рідиною для гасіння.	Небезпека: під час транспортування та установки – механічні, висота. поряд з ракетою поставили пожежну машину та бак з рідиною для гасіння, це зумовило підвищення ризику за рахунок підвищення тяжкості наслідків так, як – вона ущент згоріла за короткий час і її не можливо було викрасити в час пожежі. Небезпечна подія: технічні поломки, втрата життя та здоров'я працівників. Наслідки небезпечної події: на виправлення, доопрацювання потрібно більше часу, імовірна поява небезпечних умов, які підвищують ризик катастрофи під час запуску ракети.	Умови ризику змінилися. Висновок щодо ризику: ризик прийнятний у разі виконанні безпечних дій. Власник ризику: керівники льотних випробувань маршал Неделін М.І. та головний конструктор М. К. Янгель

21 жовтня 1960 року ракету вивезено з монтажно-випробувального комплексу та доправлено на 41-ий майданчик, де 21 і 22 жовтня 1960 року були проведені передбачені передстартовою підготовкою притискування головної частини, підйом і установка ракети на пусковий стіл, підключення комунікацій і випробування всіх систем (рис. 4).



Рис. 4. Підготовка ракети Р-16 в монтажно-випробувальному корпусі на Байконурі

23 жовтня 1960 року ракету заправили компонентами палива і стисненими газами,

рішенням держкомісії старт призначено на сьому годину цього ж дня. Однак, о шостій годині вечора, у процесі підготовки до пуску, під час подачі сигналу з пульта щодо прориву піромембран магістралі окиснювача 2-го ступеня, стався і підрив піромембрани магістралей окислювача 1-го ступеня. Крім того, було зафіксовано несанкціонований підрив піропатронів відсічних клапанів газогенератора 1-го блоку маршового двигуна 1-го ступеня [11]. Звісно, роботи було зупинено до з'ясування причин події. Аналіз електричної схеми показав, що це могло статися у разі плутанини дротів у головному розподільнику системи управління першого ступеня. Його зняли з ракети, розкрили і виявили, що ізоляція дротів одного з джгутів, через які проходив струм на підрив піромембран, повністю розплавлена і голі дроти контактували один з одним. Електричною схемою напруга надходила на піропатрони мембран через відповідні ланцюги приладу А-120 [12]. І поки конструктори та техніки встановлювали факт спрацьовування піромембран, згорілі продукти піропатронів замкнули електричні дроти, сталося коротке замикання, ізоляція проводів розплавилася і струм пішов дротами, які були поруч. Відтак можна констатувати, що небезпекою виявилась недоопрацьована конструкція пульта управління, яка призвела до небезпечної події несанкціонованого доступу пального до камер

запуску двигуна. Наслідками стало виникнення умов для пожежі на ракеті Р-16.

Наступного дня держкомісія заслухала головного конструктора Б.М. Конопльова, який відповідав за розробку системи управління ракетою і пульт управління, щодо необхідності значного терміну для усунення виявлених недоробок [13]. Такий результат не влаштував комісію і було вирішено провести пуск без доробок, а прорив піромембран зробити вручну. Після оголошення 30-хвилинної готовності для уникнення помилкових спрацьовувань комісія погодилася з пропозицією провести переустановлення в нульове (вихідне) положення крокових двигунів системи управління. Це фактично відмова від безпеки! Усі висловилися, крім незначної кількості фахівців, за продовження робіт. На зауваження про небезпеку проведення доробок на заправленій ракеті не зважали. За спогадами одного з учасників подій, маршал М.І. Неделін зауважив: «Що я буду говорити Микиті (Хрущову)? Ракету доопрацювати на старті, країна чекає нас» [14].

Після обіду 24 жовтня, подаючи приклад сміливості, маршал М.І. Неделін сидів на стільці на «нульовій позначці» – приблизно у 17 метрах від підніжжя ракети. Оскільки політичні керівники Радянського Союзу дошкуляли маршалу запитаннями про випробування, він розпорядився поруч з ракетою поставити машину спецв'язку із Москвою. Щодо безпеки, як вже відомо, це ракетне пальне. Ситуацію з виникненням катастрофи прискорило передчасне підключення бортової ампульної батареї. Унаслідок цього електричні ланцюги ракети опинилися під напругою. За інструкцією, бортові ампульні батареї повинні під'єднуватись після проведення всіх перевірок, безпосередньо у процесі пуску [15]. Це призвело до появи ще однієї небезпеки – напруги, що призвела до несанкціонованого увімкнення двигунів ракети.

Попри це були фахівці, які розуміли всю серйозність ситуації. Так, генерал А. Соколов зателефонував до Байконуру і сказав «Ви що там, з глузду з'їхали? Ви ж сидите на бомбі. Необхідно зливати паливо. Нехай ракета і пропаде для випробувань. Використаємо її в навчальних класах. Негайно йдіть до маршала і скажіть від мого імені, щоб негайно припинили всі передпускові роботи на ракеті. Це вкрай небезпечно» [16].

У 18.45 24 жовтня 1960 року було оголошено 30-хвилинну готовність до пуску і розпочато виставляння в нуль програмного струморозподільника. Якщо б не було бортового живлення електрострумом, ця операція нічим не загрожувала б. Однак, підключена ампульна батарея, призвела до наявності напруги в

електричній мережі. Це зумовило несанкціонований запуск двигуна другого ступеня. Вогняний струмінь зруйнував баки окиснювача і пального першого ступеня. Коли запустився двигун другого ступеня, увімкнулися автоматичні кінокамери і зафіксували подробиці катастрофи. Концентричні хвилі полум'я розходилися від ракети та поширювалися з величезною швидкістю і поглинали все на своєму шляху. З вогню вискакували і бігли на всі боки палаючі люди. Лавиноподібне горіння тривало близько 20 секунд, після чого залишки агрегатів і споруди догорали дві години [17]. Наслідками небезпечної події стали втрата життів та здоров'я персоналу, збитки, репутаційні втрати. Зокрема, 74 людини згоріли, 4 померли від опіків, усього загинуло 78 осіб; було знищено першу експериментальну ракету, майже знищено пускову установку.

Висвітлені події, їх аналіз, розуміння небезпек і знання наслідків небезпечної події дозволили побудувати модель реалізованого ризику небезпеки з визначенням основних небезпечних умов, які призвели до катастрофи (рис. 5). Зокрема, основними небезпечними умовами є: подача пального до двигуна, встановлення електричної батареї за годину до запуску, подача електричного сигналу на пуск ракетного двигуна за хвилину до катастрофи та за 15 хвилин до запуску. Унаслідок виникнення поєднання всіх трьох небезпечних умов ймовірність настання небезпечної події підвищилася до 100%.

Ще однією небезпечною умовою була наявність значної кількості людей для запуску ракети. Так, на стартовій позиції потрібні були 20 осіб, а перебували понад 200. Таким чином, наявні небезпечні умови призвели до реалізації ризику, оскільки ймовірність настання небезпечної події – пожежі – підвищилася до 100%. До того ж, остання небезпечна умова призвела до значної тяжкості втрат, яка підвищилася з 20 осіб до 100 або більше.

Члени робочих груп комісії з розслідування причин катастрофи провели аналіз комплексної електричної схеми системи управління, щоб виявити причини виникнення незапланованої команди на запуск двигуна другого ступеня. Аналіз комплексної електричної схеми системи управління показав, що під час виконання операції переустановлення крокових двигунів у початковий стан в момент замикання контактів програмного струморозподільника напруга з шини, що з'явилася після підключення до бортової кабельної мережі автономно задіяної ампульної батареї другого ступеня, безперешкодно пішла на запуск піростартерів двигуна другого ступеня і на електропневмоклапан надуву пускових бачків. Це

відразу перевірили. Група спеціалістів з двигунів, оглянувши вцілілі частини ракети, підтвердила факт запуску і виходу на режим двигуна другого ступеня. Основна причина пожежі була очевидна: передчасний запуск маршового двигуна другого ступеня спровокували три фактори [18]:

- по-перше, завчасно автономно були підірвані розділові піромембрани другого ступеня і пускові бачки заповнилися компонентами пального;

- по-друге, завчасно було задіяно бортову ампульну батарею другого ступеня, унаслідок чого на бортовій шині другого ступеня з'явилася напруга;

- по-третє, проведено незаплановану операцію з переустановлення крокових двигунів системи управління в початковий стан, що призвело до запуску двигуна другого ступеня.

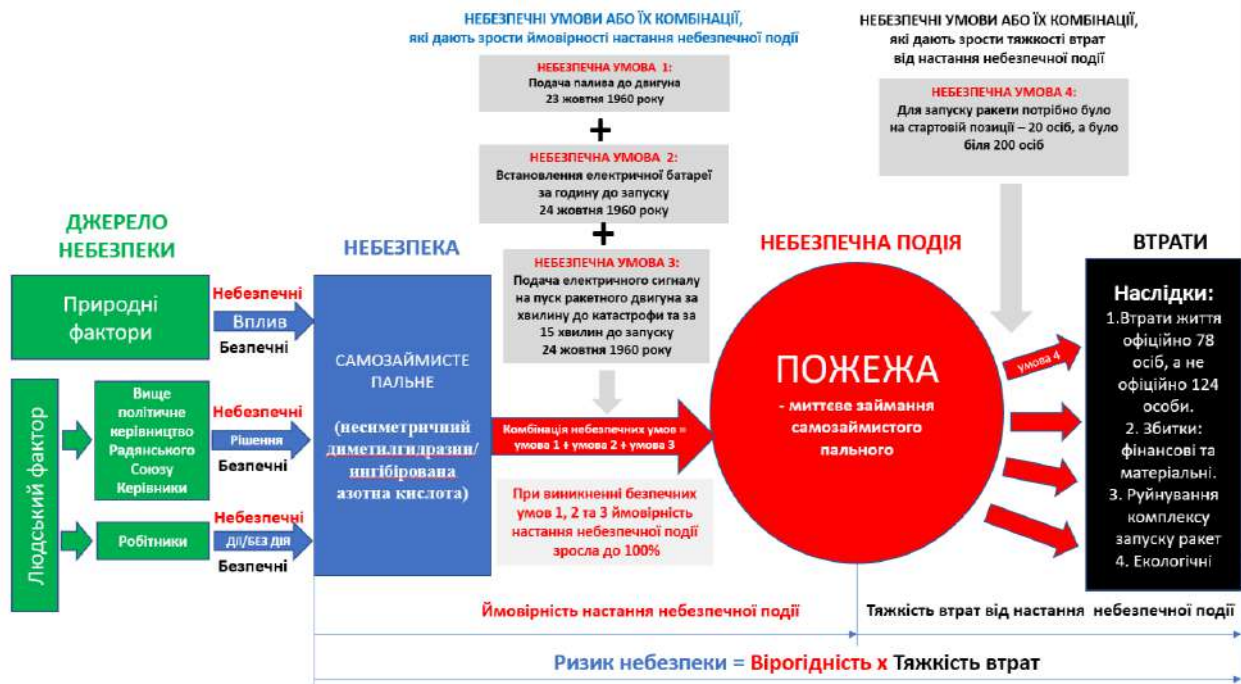


Рис. 5. Модель реалізованого ризику безпеки за умови виникнення небезпечних умов 1-4 під час підготовки ракети Р-16 до запуску

Важливо зауважити, що кожен з цих чинників окремо не міг вплинути на безпеку підготовки ракети до пуску, але їх поєднання призвело до катастрофи. Пожежа сталася б і за наявності тільки двох останніх чинників. У цьому випадку неминуче запусився б піростартер маршового двигуна другого ступеня, турбіна зруйнувала би баки ракети, і наслідки були б не менш трагічними.

Наведемо деякі твердження з Технічного висновку комісії з розслідування [19].

«1. У процесі підготовки пуску виробу сталася низка випадків, що вказують на наявність невідповідностей і дефектів у кабельній мережі, бортових батареях, пультах підриву піромембран і розподільнику системи управління. Керівники випробувань не надали цьому належного значення і ... без достатнього опрацювання та аналізу наслідків допустили відхилення від установленого порядку підготовки до пуску ...

2. Безпосередньою причиною катастрофи стала вада комплексної схеми системи управління, що допускає несвоєчасний запуск маршового двигуна

другого ступеня під час проведення передстартової підготовки. Цю ваду не виявили під час проведення всіх попередніх випробувань».

Цілком очевидно, що у підсумках Технічного висновку другий пункт суперечить першому. Насправді, за висновками експертів, безпосередньою причиною катастрофи стало уведення в Технологічний графік підготовки і пуску ракети Р-16 технічно необґрунтованої операції з переустановлення крокових двигунів системи управління в початковий стан. Інакше кажучи, але зберігаючи думку з доповіді, що є актуальною і для сучасних керівників, спеціалістів та всіх працівників: «Керівники, спеціалісти та робітники будь якої галузі, об'єднання, підприємства та компанії повинні проводити належний аналіз усіх небезпек, які можуть спричинити втрати життя та здоров'я працівників, екологічні, матеріальні, фінансові та інші збитки, щоб своїми безпековими рішеннями запобігти настанню небезпечних подій (нещасних випадків, захворювання та аварій) при виконанні будь яких робіт в організації».

І все ж таки вплив всіх трьох факторів під час першого пуску Р-16 можна було виявити. Для цього потрібно було глибоко проаналізувати електричну схему (адже ніде і ніколи раніше операцію з переустановлення крокових двигунів системи управління у вихідний стан не було випробувано) або перевірити набір схеми до пуску з урахуванням всіх прийнятих змін на стенді системи управління, але, на жаль, ні того, ні іншого зроблено не було.

Ураховавши страшний урок, М.К. Янгель та його учні, сьогодні українські ракетобудівники, розробили та запровадили концепцію «безлюдного старту», коли всі операції з підготовки та проведення старту виконуються в автоматизованому режимі. У повному обсязі це завдання було реалізовано КБ «Південне» в ракетних комплексах «Циклон» та «Зеніт», що привело до суттєвого зниження ризику [20, 21].

Висновки

Отже, у даному матеріалі побудовано моделі ризику небезпеки у разі виникнення небезпечної умови - відсутності ядерного паритету між США та Радянським Союзом та небезпеки від самозаймистого й токсичного палива. Виконано опис ризиків небезпеки за хронологією історичних подій, які передували «катастрофі Неделіна» з рішеннями щодо їх керування. Ограновані основні причини катастрофи на основі моделі реалізованого ризику небезпеки за умови виникнення небезпечних умов: подачі пального до двигуна, встановлення електричної батареї за годину до запуску ракети, подачі електричного сигналу на пуск ракетного двигуна за хвилину до катастрофи та за 15 хвилин до запуску, для запуску ракети на стартовій позиції потрібні були 20 осіб, а перебували понад 200 під час підготовки ракети Р-16 до запуску. Встановлені причинно-наслідкові взаємозв'язки між історичними подіями на основі моделі «Краватка-Метелик», які дозволили виявити ризик небезпеки за умови виникнення небезпечних умов під час підготовки ракети Р-16 до запуску. Розроблені моделі для оцінки ризику виникнення небезпечних подій від різних історичних подій, рішень керівників Радянського Союзу, керівників державної комісії.

Література

1. Sheehan, N. (2010). A Fiery Peace in a Cold War: Bernard Schriever and the Ultimate Weapon. *Studies in Intelligence*, 54(3), 41-43. Retrieved from: <https://www.cia.gov/static/fl189aa1601ca80594964c26b9ead461f/Fiery-Peace-Cold-War.pdf>
2. Болтенко, О.С. Катастрофа на Байконурі [Електронний ресурс] / О.С. Болтенко // Офіційний сайт Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". - 2015. - Режим доступу: <https://kpi.ua/1533-1b> (дата звернення: 24.04.2023). - Назва з екрана.
3. Gingerich, D.E., Forrest, J.S., Abiin, A.A., Maricle-Fitzpatrick, T.M. (2015). The Russian R-16 Nedelin Disaster: An Historical Analysis of Failed Safety Management. *Journal of Space Safety Engineering*, 2(2), 65-73. [https://doi.org/10.1016/S2468-8967\(16\)30052-0](https://doi.org/10.1016/S2468-8967(16)30052-0)
4. Naomi, O., Krige, J. (2014) Science and Technology in the Global Cold War. Cambridge, MA; online edn, MIT Press Scholarship Online, 21 May 2015. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262027953.001.0001>
5. Azriel, M. (2014) The Nedelin Catastrophe, Part 1. *Space Safety Magazine*. Retrieved from: <https://www.spacesafetymagazine.com/space-disasters/nedelin-catastrophe/historys-launch-padfailures-nedelin-disaster-part-1/>
6. Voicu, I., Panaitescu, F.V., Panaitescu, M., Dumitrescu, L.G., Turof, M. (2018). Risk management with Bowtie diagrams. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 400(8), 082021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/400/8/082021>
7. Alani, S.H.N., Mahjoob, A.M.R. (2021). Corruption Risk Analysis at the Project Planning Stage in the Iraqi Construction Sector using the Bowtie Methodology. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 11(3), 7223-7227. <https://doi.org/10.48084/etasr.4060>
8. Kotre, C.J. (2022). ALARP: when does reasonably practicable become rather pricey? *The British Journal of Radiology*, 1;95(1138), 20220612. <https://doi.org/10.1259/bjr.20220612>
9. Катастрофа на Байконурі (1960): [Електронний ресурс] // Вікіпедія - вільна енциклопедія. - Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Катастрофа_на_Байконурі_\(1960\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Катастрофа_на_Байконурі_(1960)) (дата звернення: 24.04.2023). - Назва з екрана.
10. Chukalova, R., Kakenova, Z., Kushpaeva, A. (2018). The role of Baikonur in the context of military-political cooperation between Kazakhstan and Russia. *Opcion*, 34(85), 551-581. Retrieved from: <https://www.redalyc.org/journal/310/31055914025/31055914025.pdf>
11. Villain, J. (1996). A brief history of Baikonur". *Acta astronautica*, 38(2), 131-138. [https://doi.org/10.1016/0094-5765\(96\)00005-7](https://doi.org/10.1016/0094-5765(96)00005-7)
12. Sabden, O. (2011). Uspеhi ne osporimy. *Economicheskoe razvitiе Kazakhstana za 20 let nezavisimosti* ". *Kazakhstanskaya pravda*, 4(5), 45-80.
13. Mansurov, V., Yurchenko, O., Allsop, J. and Saks, M. (2004). The Anglo-American and Russian sociology of professions: Comparisons and perspectives. *Knowledge, Work and Society*, 2(2), 23-49.
14. Mike Gruntman (2019) From Tyuratam Missile Range to Baikonur Cosmodrome. *Acta Astronautica*, Volume, 155, p. 350-366. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.12.021>
15. David E. Gingerich, Jeffrey S. Forrest, Andrei A. Abiin, Taletta M. Maricle-Fitzpatrick. (2015) The Russian R-16 Nedelin Disaster: An Historical Analysis of Failed Safety Management, *Journal of Space Safety Engineering*, Volume 2, Issue 2, P. 65-73. [https://doi.org/10.1016/S2468-8967\(16\)30052-0](https://doi.org/10.1016/S2468-8967(16)30052-0)
16. Albert D. Wheelon (2004) Technology and intelligence, *Technology in Society*, Volume 26, Issues 2-3, P. 245-255. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2004.01.026>
17. Maikanov, B.S., Auteleyeva, L.T., Zhubatov, Z.K., Terlikbayev, A.A., Kamsaev, K.M. (2022). The Effect of an Accidental Carrier Rocket Crash on Soil and Vegetation Cover. *Journal of Ecological Engineering*, 23(2), 176-184. <https://doi.org/10.12911/22998993/144386>

18. Dr. Joseph N. Yoon, "Nedelin Disaster", *Aerospaceweb.org*. Retrieved from: www.aerospaceweb.org/question/spacecraft/q0179.shtml

19. Платонов В. После катастрофы. / В. Платонов // *Дзеркало тижня* – 2000. – №45. https://rvsn.ruzhany.info/platonov_02_01.html

20. Robert Kopack (2021) Baikonur 2.0: 'inland-offshore' space economies in post-Soviet Kazakhstan. *Culture, Theory and Critique*, 62:1-2, 96-112. <https://doi.org/10.1080/14735784.2021.1929363>

21. Болтенко О. Катастрофа на Байконуре. [Електронний ресурс] / Олександр Болтенко // *Дослідження з історії техніки*. – Випуск 16. – С. 17 – 27. Режим доступу: <http://journal.museum.kpi.ua/archive/2012-vol-16/RHT-issue-16-title-02-Boltenko.pdf>

References

1. Sheehan, N. (2010). A Fiery Peace in a Cold War: Bernard Schriever and the Ultimate Weapon. *Studies in Intelligence*, 54(3), 41-43. Retrieved from: <https://www.cia.gov/static/f189aa1601ca80594964c26b9ead461f/Fiery-Peace-Cold-War.pdf>

2. Boltenko, O. (2015) Katastrofa na Baikonuri. *Ofitsiyni sait Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut imeni Ihoria Sikorskoho»*. Retrieved from: <https://kpi.ua/1533-1b> (data zvernennia: 24.04.2023). Nazva z ekrana.

3. Gingerich, D.E., Forrest, J.S., Abiin, A.A., Maricle-Fitzpatrick, T.M. (2015). The Russian R-16 Nedelin Disaster: An Historical Analysis of Failed Safety Management. *Journal of Space Safety Engineering*, 2(2), 65-73. [https://doi.org/10.1016/S2468-8967\(16\)30052-0](https://doi.org/10.1016/S2468-8967(16)30052-0)

4. Naomi, O., Krige, J. (2014) Science and Technology in the Global Cold War. Cambridge, MA; online edn, MIT Press Scholarship Online, 21 May 2015. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262027953.001.0001>

5. Azriel, M. (2014) The Nedelin Catastrophe, Part 1. *Space Safety Magazine*. Retrieved from: <https://www.spacesafetymagazine.com/space-disasters/nedelin-catastrophe/history-launch-padfailures-nedelin-disaster-part-1/>

6. Voicu, I., Panaitescu, F.V., Panaitescu, M., Dumitrescu, L.G., Turof, M. (2018). Risk management with Bowtie diagrams. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 400(8), 082021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/400/8/082021>

7. Alani, S.H.N., Mahjoob, A.M.R. (2021). Corruption Risk Analysis at the Project Planning Stage in the Iraqi Construction Sector using the Bowtie Methodology. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 11(3), 7223-7227. <https://doi.org/10.48084/etasr.4060>

8. Kotre, C.J. (2022). ALARP: when does reasonably practicable become rather pricey? *The British Journal of Radiology*, 1;95(1138), 20220612. <https://doi.org/10.1259/bjr.20220612>

9. Katastrofa na Baikonuri (1960) *Vikipediia - vilna entsyklopediia*. Retrieved from: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Катастрофа_на_Байконурі_\(1960\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Катастрофа_на_Байконурі_(1960)) (data zvernennia: 24.04.2023). Nazva z ekrana.

10. Chukalova, R., Kakenova, Z., Kushraeva, A. (2018). The role of Baikonur in the context of military-political cooperation between Kazakhstan and Russia. *Opcion*, 34(85), 551-581. Retrieved from: <https://www.redalyc.org/journal/310/31055914025/31055914025.pdf>

11. Villain, J. (1996). A brief history of Baikonur". *Acta astronautica*, 38(2), 131-138. [https://doi.org/10.1016/0094-5765\(96\)00005-7](https://doi.org/10.1016/0094-5765(96)00005-7)

12. Sabden, O. (2011). Uspehi ne osporimy. *Economicheskoe razvitie Kazakhstana za 20 let nezavisimosti* ". *Kazakhstanskaya pravda*, 4(5), 45-80.

13. Mansurov, V., Yurchenko, O., Allsop, J. and Saks, M. (2004). The Anglo-American and Russian sociology of professions: Comparisons and perspectives. *Knowledge, Work and Society*, 2(2), 23-49.

14. Mike Gruntman (2019) From Tyuratam Missile Range to Baikonur Cosmodrome. *Acta Astronautica*, Volume, 155, p. 350-366. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.12.021>

15. David E. Gingerich, Jeffrey S. Forrest, Andrei A. Abiin, Taletha M. Maricle-Fitzpatrick. (2015) The Russian R-16 Nedelin Disaster: An Historical Analysis of Failed Safety Management, *Journal of Space Safety Engineering*, Volume 2, Issue 2, P. 65-73. [https://doi.org/10.1016/S2468-8967\(16\)30052-0](https://doi.org/10.1016/S2468-8967(16)30052-0)

16. Albert D. Wheelon (2004) Technology and intelligence, *Technology in Society*, Volume 26, Issues 2-3, P. 245-255. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2004.01.026>

17. Maikanov, B.S., Auteleyeva, L.T., Zhubatov, Z.K., Terlikbayev, A.A., Kamsaev, K.M. (2022). The Effect of an Accidental Carrier Rocket Crash on Soil and Vegetation Cover. *Journal of Ecological Engineering*, 23(2), 176-184. <https://doi.org/10.12911/22998993/144386>

18. Dr. Joseph N. Yoon, "Nedelin Disaster", *Aerospaceweb.org*. Retrieved from: www.aerospaceweb.org/question/spacecraft/q0179.shtml

19. Platonov V. (2000) Posle katastrof. *Dzerkalo tyzhnia*. №45. Retrieved from: https://rvsn.ruzhany.info/platonov_02_01.html

20. Robert Kopack (2021) Baikonur 2.0: 'inland-offshore' space economies in post-Soviet Kazakhstan. *Culture, Theory and Critique*, 62:1-2, 96-112. <https://doi.org/10.1080/14735784.2021.1929363>

21. Boltenko O. (2012) Katastrofa na Baikonure. *Doslidzhennia z istorii tekhniki*. Vypusk 16. S. 17-27. Retrieved from: <http://journal.museum.kpi.ua/archive/2012-vol-16/RHT-issue-16-title-02-Boltenko.pdf>

Рецензент: д-р. техн. наук, с. н. с. В.М. Стрілець, Національний університет цивільного захисту України, Україна.

Автор: ЦОПА Віталій Андрійович
доктор технічних наук, професор, професор кафедри
Міжнародний інститут менеджменту
E-mail: - dr.tsopav@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4652-9180>

Автор: ЧЕБЕРЯЧКО Сергій Іванович
доктор технічних наук, професор, професор кафедри
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
E-mail - sicheb@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5866-4393>

Автор: ДЕРІЮГІН Олег Валентинович
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
E-mail - oleg.kot@meta.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2456-7664>

Автор: СУШКО Надія Сергіївна
аспірантка кафедри
Національний технічний університет "Дніпровська
політехніка",
E-mail - dslobodianyuk.nadiya@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4874-1823>

Автор: ШАРОВАТОВА Олена Павлівна
кандидат педагогічних наук, доцент, доцент
кафедри
Національний університет цивільного захисту
України
E-mail - sharovatova.elen@ukr.net
ID ORCID: <http://orsid.org/0000-0002-2736-2189>

ANALYSIS OF CAUSE-EFFECT RELATIONS IN THE CHRONOLOGY OF THE EVENTS OF THE BAIKONUR DISASTER

V. Tsopa¹, S. Cheberyachko², O. Deryugin², N. Sushko², O. Sharovatova³

¹International Institute of Management, Ukraine

²Dnipro University of Technology, Ukraine

³National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

Identifying the causes of disasters, emergency situations, and incidents is a necessary condition for avoiding similar situations in the future. The methods of the theory of catastrophes are constantly being improved, there is a need to return to some historical negative events, the analysis of which contributes to the discovery of new grounds, facts, consequences that update the essence of the emergence of an emergency situation, and allow managers, specialists and employees of any industry, association, enterprises or organizations to make security decisions. This study revealed cause-and-effect relationships in the chronology of events that led to the "Nedelin Disaster" - the worst and most fatal disaster in the rocket and space industry of the Soviet Union and the world, when the Soviet intercontinental ballistic missile R-16 exploded during a test at the start during launch preparation. The assessment of the occupational risk of hazards was carried out on the basis of the "bow-tie" model, which is a schematic method of describing and analyzing the ways of the development of a dangerous event from causes to consequences by combining the "fault tree analysis" and "event tree". This model is widely used because of its convenience and simplicity in representing the cause-and-effect relationship between a hazard, a hazardous event, and consequences. Its visualization helps to clearly demonstrate the process of managing occupational risks by determining the number of barriers (protective or preventive measures) that are placed on the path between danger and a dangerous event and a dangerous event and consequences. The number of barriers makes it possible, on the one hand, to establish an estimate of preventive and protective measures for labor protection, and on the other hand, to influence the probability of the occurrence of a dangerous event. The highlighted events, their analysis, understanding of the dangers and knowledge of the consequences of a dangerous event made it possible to build a model of the realized risk of danger with the definition of the main dangerous conditions that led to the disaster. In particular, the main dangerous conditions are: supplying fuel to the engine, installing the electric battery one hour before launch, giving an electric signal to start the rocket engine one minute before the crash and 15 minutes before launch. As a result of the combination of all three dangerous conditions, the probability of a dangerous event has increased to 100%. Another dangerous condition was the presence of a significant number of people to launch the rocket, which led to a significant severity of casualties - from 20 people to 100 or more. It is important that each of these factors alone could not affect the danger of preparing the rocket for launch, but their combination led to the disaster.

Keywords: disaster, danger, cause-and-effect relationships, risk, risk assessment.