

УДК 641.841

В. П. Руденко¹, аспірант (ORCID 0009-0002-0221-2640)

К. М. Остапов², к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-1275-741X)

Ю. М. Сенчихін², к.т.н., професор, проф. каф. (ORCID 0000-0002-5983-2747)

Н. В. Долгополова³, к.т.н., ст. викл. каф. (ORCID 0000-0002-4326-2284)

Д. Ю. Белюченко², к.т.н., заст. нач. каф. (ORCID 0000-0001-7782-2019)

В. Г. Аветісян², к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-5986-2794)

¹Український державний університет науки та технологій, Дніпро, Україна

²Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна

³Харківська державна академія фізичної культури, Харків, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ ВЕДЕННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ НА ВИСОТАХ БУДІВЕЛЬ

Підвищено ефективності та безпеку ведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, у разі виникнення надзвичайних ситуацій в висотних будівлях та спорудах з використанням нетрадиційних засобів проведення аварійно-рятувальних робіт, за рахунок використання запропонованої корисної моделі спеціальної підйомно-транспортної машини з тросовою системою підйому/спуску та закритою кабіною ліфтового типу, з можливістю подолання перешкод за допомогою потрійних колісних блоків. Розроблено конструкцію корисної моделі ефективною та безпечною конструкції спеціальної підйомно-транспортної машини для ведення аварійно-рятувальних та аварійно-відновлювальних робіт в висотних будинках. Запропонована конструкція підйомно-транспортної машини дозволяє підвищити ефективність проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт за рахунок скорочення, майже вдвічі, часу приведення в дію та початку рятування постраждалих з висоти, в порівнянні з традиційними підйомними машинами. Для раціонального використання конструкції спеціальної підйомно-транспортної машини створено комп'ютерний алгоритм циклічних двох крокових розрахунків тактико-технічного забезпечення до її розгортання після прибуття на місце виникнення надзвичайної ситуації. Дано рекомендації практичного характеру до отримання та використання раціональних й оптимальних рішень. На основі побудови апроксимаційних поліномів Лагранжа третього ступеню отримані загальні розрахунки тактико-технічного забезпечення у вигляді номограми прийняття рішень по задіяння підйомно-транспортної машину. Раціональна і оптимальна схеми прийняття рішень, щодо задіяння спеціальної підйомно-транспортної машини, мають елементи якісного і кількісного підходів до створення єдиного тактико-технічного забезпечення з вірогідністю отримання позитивних результатів до 95 %.

Ключові слова: багатоповерхові будівлі, вибухи, руйнування, підйомні-транспортні машини, поліноми Лагранжа

1. Вступ

Активні обстріли міст ракетами та артилерією на сьогоднішній війні є складовою тактики бойових дій, що веде рф проти України. Це призводить до значних руйнувань житлового фонду наших міст і промислових центрів, особливо тих, які знаходяться біля лінії фронту. Внаслідок бойових дій значна кількість міст, має понад 50 % житла та інфраструктури вже пошкодженим і продовжується руйнування [1].

Загальна кількість зруйнованих або пошкоджених об'єктів житлового фонду становить близько 236 тис. будівель, з них 209 тис. – приватних (індивідуальних) будинків, 27 тис. – багатоквартирних будинків, 0,6 тис. – гуртожитків [2]. Природно, що дахи та верхні поверхи будівель зазнають найбільш значні руйнування. Реалії збройної агресії вимагають значного коригування дій аварійних служб і підрозділів ДСНС зі збільшенням зусиль по відновленню забудов міст та промислових центрів. Підкреслимо, що аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи

тут є основою безпеки життєдіяльності громадян України. Пожежно-рятувальні підрозділи першими прибувають до зони зруйнованих будівель та приймають на себе основну частину робіт з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (далі – НС). Особливо при вибухах і руйнуваннях верхніх поверхів та дахів багатоповерхових будинків [3], будь то видалення елементів пошкоджених будівель, чи рятування постраждалих з гори до безпечних зон з метою надання медичної допомоги (рис. 1).



Рис. 1. Використання люльки традиційних кранів: а – видалення елементів пошкоджених будівель; б – транспортування постраждалих до землі

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю підвищення ефективності та безпеки ведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт в висотних будинках та будівлях підвищеної поверховості (далі – БПП), що було пошкоджено при надзвичайних ситуаціях. У сучасному контексті воєнного часу, коли існує загроза повторних ракетних ударів, швидкість та злагодженість дій оперативних робітників є критично важливим аспектом. Трагічний випадок, що стався 4 квітня 2024 року під час повторної атаки на м. Харків, коли загинуло троє рятувальників, яскраво демонструє гостру потребу в розробці нових ефективних та безпечних підходів для мінімізації ризиків громадян й особового складу ДСНС. Таким чином, проблема забезпечення достатнього рівня безпеки аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт на висотах та ефективності задіяння підйомно-транспортних машин є своєчасною і актуальною.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

У роботі [4] розглянуті особливості застосування пожежно-рятувальних автодрабин та автопідіймачів для ведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт при НС у багатоповерхових будівлях. В роботі розглянуті технічні параметри автодрабин, які мають значення для ефективності рятувальних робіт. Проведено огляд технічних і тактичних аспектів роботи з автодрабинами: зокрема, що не можна «опирати» верхню частину автодрабини на покрівлю чи парапет будівлі, оскільки це може створити не спроектовані навантаження і призвести до відмови конструкції. Перевагами застосування пожежно-рятувальних автодрабин та автопідіймач є швидке розгортання, можливість евакуації людей з вікон, доставка рятувальників і техніки на верхні поверхи. Недоліками їх використання є обмежена висота задіяння (30–50 м), залежність від місця розташування будівлі (під'їзні шляхи, щільна забудова), вплив погодних умов (вітер, ожеледь).

У роботі [5] наведені можливості рятування постраждалих з використанням внутрішніх пожежних сходів, евакуаційних виходів та балконів. Розглянуто роль внутрішніх сходів як основного засобу евакуації. Підкреслено, що немає універсальної стратегії рятування для всіх висотних будівель, і що внутрішні сходи/виходи мають бути адаптовані під конкретну будівлю. Недоліками є те, що навіть при доступності внутрішніх пожежних сходів, вони можуть бути малоефективними, якщо атмосферні умови (дим, тиск, температура) не контролюються. Також шляхи евакуації не завжди враховують людей з обмеженою рухливістю чи поведінкові аспекти в умовах надзвичайної ситуації.

У роботі [6] описуються схеми використання вертольотів для рятування осіб, які опинилися на дахах висотних будівель. Наводяться алгоритми застосування вертольотів при НС з багатоповерхових будівлях, а саме висадка рятувальників на дах, евакуація людей, проведення розвідки згори. Вертольоти можуть швидко дістатись до дахів або верхніх рівнів висотних будівель, минаючи наземні перешкоди: затори, вузькі під'їзди, щільну забудову. Основними недоліками є обов'язкова наявність даху чи майданчика для посадки або підвішування, багато дахів висоток не адаптовані чи не мають майданчика для вертольота. Повітряний простір у місті часто завантажений, присутні будівельні крани, високовольтні дроти, щільна забудова – що створює додаткову небезпеку. Вертольоти мають великі навантаження, витрати, потребують спеціальних підготовлених екіпажів, погодних умов, і не завжди можуть бути оперативно задіяні.

У роботі [7] досліджується застосування безпілотних літальних апаратів (далі – БПЛА) для гасіння пожеж та рятування постраждалих у висотних будівлях, включно з зовнішніми стінами, дахами. БПЛА забезпечують гнучке, швидке реагування, можливість обстеження з висоти, доступ до важкодоступних ділянок, можливість зовнішнього гасіння чи розвідки пожежі на фасаді. Залучення БПЛА дозволяє працювати швидше ніж традиційна підйомна техніка. БПЛА можуть бути використані для пошуку постраждалих, картографування обстановки, отримання інформації у реальному часі – що підвищує загальну ефективність рятувальних робіт. Недоліками є обмеження по вантажопідйомності, хоча деякі БПЛА мають значну вантажопідйомність, ще залишаються обмеження щодо кількості вогнегасної речовини, аварійно-рятувального обладнання, які вони можуть доставити. Вплив вітру, погодних умов, обмежена автономність, батареї – все це суттєво впливає на ефективність використання БПЛА. Для евакуації людей з висоти не застосовуються через технічні, безпекові та регуляторні проблеми.

В роботі [8] досліджується система рятувальних робіт з висоти при використанні рятувальних мотузок, спускових пристроїв, стандартизація цього виду робіт. Рятувальні мотузкові системи та спускові пристрої дають додатковий варіант евакуації або рятування з висоти, коли традиційні шляхи (сходи, ліфти) заблоковані або недоступні. Мотузкові системи можуть бути швидко розгорнуті, портативні і легкі в застосуванні. Однак мають певні недоліки, а саме, підготовка до рятувальних робіт із застосуванням мотузки є критичною, без достатнього навичку підвищується ризик критичних помилок.

В практиці рятування туристів й альпіністів, що потерпали лихо в гірських місцевостях, відомий пристрій «LALIZAS Pneumatic Line Throwing Device» [9] (надалі – лінемет), який може використовуватись як засіб, призначений для подачі рятувального кінця канату з налагодженням комунікаційного зв'язку з потрібною зоною. Цей засіб було удосконалено у роботі [10] стосовно ведення аварійно-

рятувальних робіт в висотних будинках і будівлях підвищеної поверховості. Пристрій має канат, з'єднаний з контрольним вантажем, котрий закидають на верхні поверхи БПП (або на дах висотної будівлі) завдяки уточненим розрахункам прицільного пневмо-пострілу з лінемету. Тим самим, до екстремальної зони наводиться комунікаційний зв'язок для забезпечення безпечних умов рятування постраждалих і ведення інших невідкладних робіт. Його перевагою є оперативність розгортання до дії, що становить 15–20 хвилин.

Однак сам лінемет [9] та його удосконалений варіант [10], має недоліки, які занижують можливості його ефективного застосування. Так, наприклад, цей пристрій має межу використання – до висоти не вище 20–25 м; його конструкцією не передбачено переміщення більш однієї людини, а принцип дії – не дозволяє одночасно обслуговувати більше однієї зони евакуації.

У роботі [11] для БПП розроблено стаціонарний комплекс підвісної канатної дороги – «Висотний рятувальник». Він спроможний вирішувати питання проведення різних невідкладних робіт, особливо аварійно-рятувальних, в висотних будинках, за умови наявності в будівлі допоміжних «заставних» елементів, котрі об'єднуються при ліквідації НС в єдине ціле з вузлами, які розташовані на мобільній частині комплексу. Будучи підйомно-транспортною машиною, цей «Висотний рятувальник» придатний евакуювати спеціальною кабіною одночасно більшу кількість людей, і переміщати досить вагомні вантажі з висот і нагору безперебійно. Тим самим замінивши пасажирські і вантажні ліфти будинків, які при НС в більшості випадків не працюють. Проте, роботи за його допомогою можуть бути виконані за умови, що тросові системи всього комплексу працездатні, та заставні елементи будівлі мають бути наявні та у працездатному стані (не викрадені).

Поміж тим, у цьому комплексі є інші, більш суттєві, недоліки. По-перше, він може обслуговувати за шириною лише зони, що наближені до вертикалі між розташуванням заставної консолі на даху та допоміжного блоку внизу будинку. По-друге, досить тривалий час його задіяння (30–40 хв). Та третє, вимоги до справно-го стану консолі, блоків будівлі та тросів усього комплексу мають бути безумовно виконано. Інакше ніякі роботи неможливі.

У роботі [12] розроблено рятувальний пристрій з висоти «Нетрадиційна підйомно-транспортна машина» (далі – НПТМ). Її використання таке: спочатку контрольний вантаж з причепленим силовим канатом лінемета перекидають через будинок, щоб у відповідному місці його зафіксувати на даху будинку. Далі, подібно роботі «Висотного рятувальника», використовують наведений таким чином комунікаційний зв'язок для ведення різних невідкладних робіт за допомогою відкритої кабіни (люльки НПТМ) в висотних будинках, що було пошкоджено при НС.

Оцінюючи недоліки цього рішення слід зауважити наступне. По мірі збільшення висоти підйому кабіни з людьми і вантажем, кабіна стає менш керованою, збільшуючи небажані коливання, незважаючи на наявність керуючих канатів і блоків перерозподілу зусиль керування. А це – небезпечно для транспортування людей, що постраждали під час надзвичайної ситуації. Крім того, на більшість потерпілих висота має негативний психологічний вплив, якщо кабіна відкрита до зовнішнього простору.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є низький рівень ефективності та недостатній рівень безпеки при використанні існуючих технічних рішень для ведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт при НС у будівлях підвищеної поверховості.

3. Мета та завдання досліджень

Метою роботи є підвищення ефективності та безпеки ведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт у разі виникнення надзвичайних ситуацій в висотних будівлях та спорудах з використанням нетрадиційних засобів проведення аварійно-рятувальних робіт.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- розробити конструкцію спеціальної підйомно-транспортної машини для ведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт при надзвичайних ситуаціях в висотних будівлях та спорудах;
- розробити тактико-технічне забезпечення ефективного використання спеціальної підйомно-транспортної машини для ведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт при надзвичайних ситуаціях в висотних будівлях та спорудах.

4. Матеріали й методи досліджень

Об'єкт дослідження – модель пристрою спеціальної підйомно-транспортної машини для забезпечення виконання робіт на висотах при аваріях та інших надзвичайних ситуаціях.

Методи досліджень – конструкційний синтез складових спеціальної підйомно-транспортної машини, що забезпечують виконання невідкладних робіт в пошкоджених будівлях при аваріях та інших надзвичайних ситуаціях, елементи теорії прийняття раціональних та оптимальних рішень, метод побудови апроксимаційних поліномів Лагранжа.

Предметом дослідження є залучення спеціальної підйомно-транспортної машини для ефективного та безпечного ведення робіт на висотах при НС з багатопверховими будівлями та спорудами.

Гіпотеза досліджень: збіг результатів прицільного подавання рятувального тягового троса з його теоретичною траєкторією, яка побудована за допомогою апроксимаційних поліномів Лагранжа, що дає можливість розробляти потрібне тактико-технічне забезпечення до СПТМ.

З метою ефективного проведення невідкладних робіт на висотах в багатопверхових будинках потрібен конструктивний синтез складових пристрою для оперативного наведення комунікаційного зв'язку з землею. Причому, бажано на шасі транспортного засобу, для рятування людей та перевезення необхідного робочого вантажу, мати кабінку ліфтового типу з приладами керування її безпечного підйому-спуску. А для ефективного виконання аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт при НС до подібних спеціальних машин необхідно тактико-технічне забезпечення їх задіяння.

5. Розробка конструкції спеціальної підйомно-транспортної машини

Нами розроблено конструкцію спеціальної підйомно-транспортної машини (далі – СПТМ) що спроможна підвищити ефективність та безпеку проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт на висотах будинків, пошкоджених при НС.

На рис. 2 зображено схему конструкції корисної моделі, що пропонується. Суцільними лініями зображено її в статичі в момент, коли кабіна 1 знаходиться на висоті H та на безпечній відстані S від будівлі – 5.

Особливість запропонованої конструкції полягає в тому, що кабіна, де розміщено лебідку і блок перерозподілу зусиль між керуючими канатами, є – закри-

того типу та задля підвищення безпеки її використання кабіну додатково обладнано спеціальними колесами, що примикають до будівлі.

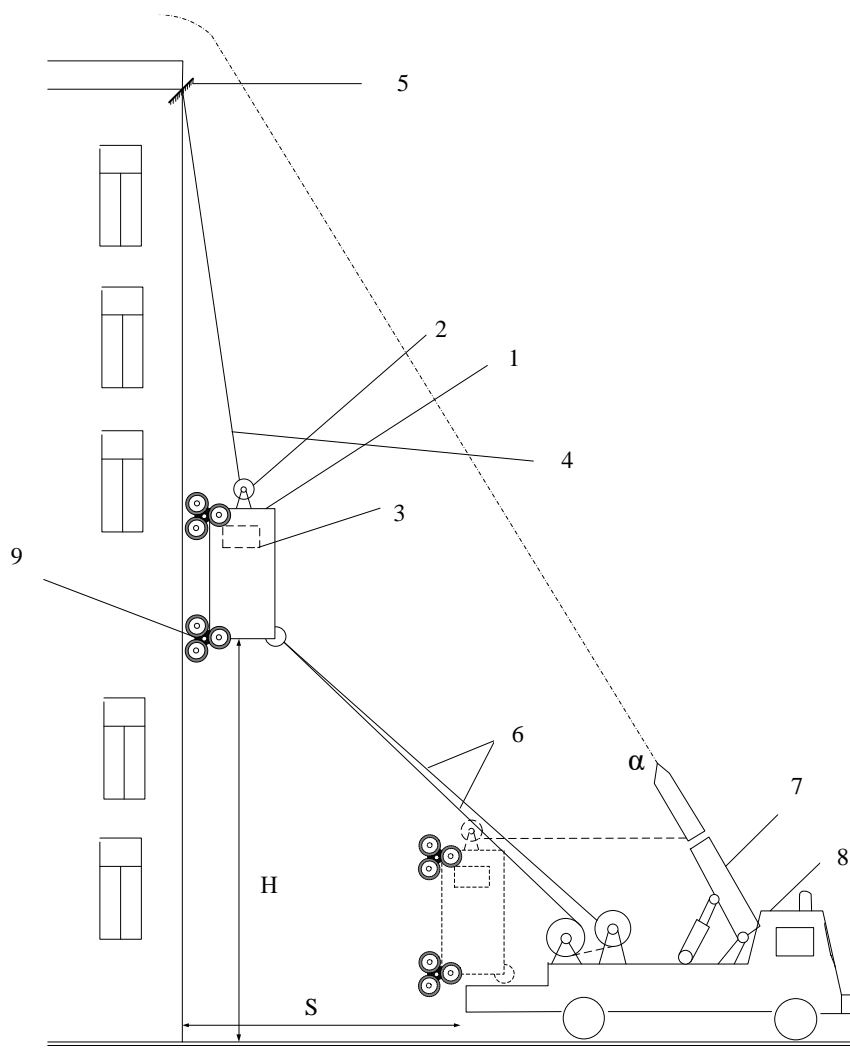


Рис. 2. СПТМ готова для веденні аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт на висотах будинків, пошкоджених при НС

СПТМ містить: кабіну підйому-спуску 1, де розміщено тягову лебідку 2 з блоком управління 3, до неї приєднано тяговий канат 4, один кінець якого зафіксовано на даху будівлі 5, а другий кінець з'єднано з лебідкою підйому-спуску 2 на кабіні, кабіна 1 двома канатами 6 зв'язана з дублюючим блоком управління з допоміжними лебідками, які разом з лінеметом 7 встановлено на шасі транспортного засобу 8; причому, кабіна 1 є кабіною ліфтового типу, яка додатково обладнана спеціальними потрійними колісними блоками 9, котрі при підйому-спуску кабіни примикають до будівлі. Спеціальні потрійні колісні блоки 9 служать для запобігання небажаних коливань кабіни, які можуть зростати при досягненні нею значних висот, попре стримуючої дії керуючих канатів і блоків перерозподілу зусиль керування поміж ними. Окрім цього, кабіна 1 ліфтового типу, що виключає дію психологічного фактору висоти на людей.

Таким чином, безпечна евакуація людей з будинку, де трапилась надзвичайна ситуація, може здійснюватися ефективніше. Складовими виконання аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт є роботи по видаленню уламків та укріпленню будівельних конструкцій.

СПТМ працює наступним чином. По-перше, у лінемет 7 вставляється контрольний вантаж (надалі – болванка) з прикріпленим до нього кінцем тягового канату 4. Канат 4 намотано на барабан тягової лебідки 2 та розміщено разом з кабіною 1 на транспортному засобі 8 (позначено пунктирними лініями). Лінемет 7, з якого здійснюються пневмо-постріли, встановлено під необхідним кутом (на кресленні траєкторія руху болванки умовно показано штрих-пунктирною лінією). За час польоту болванки тяговий канат 4 змотується з барабана тягової лебідки 2. В результаті, кінець тягового канату 4 перелітає в місце за будинком. Одночасно канат 4 само-фіксується на даху будівлі 5 силами тертя. СПТМ готова до підйому кабіни 1 на потрібну висоту H з забезпеченням безпечної відстані B від будівлі.

По-друге, оперативний працівник займає місце в кабіні 1, включає тягову лебідку 2, на барабан якої намотується тяговий канат 4, а за допомогою блоку керування 3 (або дублюючого блоку), регулює перерозподіл зусиль між керуючими канатами 6.

Таким чином, здійснюється підйом-спуск кабіни 1 до заданої висоти H , тобто створена конструкція СПТМ дозволяє виконувати невідкладні роботи на об'єкті НС згідно поставленого завдання.

6. Розробка тактико-технічного забезпечення ефективного використання спеціальної підйомно-транспортної машини

Відомо з теорії дослідження і практики прийняття раціональних/оптимальних рішень при веденні різних невідкладних завдань, зокрема при аварійно-рятувальних роботах в висотних будинках, які було пошкоджено при НС, що їх успіх пов'язують не тільки з регулярним тренуванням, зокрема пожежних-рятувальників, а й з опануванням тактико-технічного забезпечення (далі – ТТЗ) до відомої, й особливо – до нової техніки виконання робіт на висотах. Тобто для запропонованої конструкції СПТМ потрібно відповідне ТТЗ.

В подібних дослідженнях маємо: керівник підрозділу виконує поставлене завдання з локалізації/ліквідації НС і має вхідну інформацію; він приймає оперативні рішення; ці рішення повинні забезпечити ефективне та безпечне задіяння підрозділу і техніки; для цього необхідно мати не тільки сили та засоби (далі – СіЗ), а ще необхідне ТТЗ до їх використання. Іншими словами, – треба мати список можливих дій: альтернатив – A_i , ($i = 1, 2, 3, \dots$), при яких можливо отримати відповідні результати – виходи B_j , ($j = 1, 2, 3$).

В теорії дослідження операцій і прийняття рішень, виходи (результати) класифікують таким чином. Позитивний вихід – це той, що забезпечує повну ліквідацію НС (позначається «+1»). Нейтральний вихід (з позначкою «0») пов'язують з локалізацією НС, що не є повним вирішенням завдання. Негативні, не бажані виходи позначено «-1». Вони не призводять до вирішення завдання. Їх потрібно позбутися, тоді не потрібно бути всі роботи починати знову. Безперечно, до нової перспективної техніки необхідно ТТЗ розробляти заздалегідь, щоб в подальшому виключити негативні рішення.

У кожному конкретному випадку ухвалення рішення – це процес вибору однієї з альтернатив серед усіх наявних зі списку ТТЗ, котрий визнається аналізом ефективності дій з досяганням або якісної цілі, або кількісної. Останню можна знайти, оптимізувавши якісну ціль кількісно – з усіх раціональних рішень обрати найкраще оптимальне, якщо це потрібно. Критерії тут різні, наприклад: безпека постраждалих, рятувальників, скорочення деяких операцій та всього оперативного

часу дій взагалі, або і те й інше. Тобто спочатку треба закласти у комп'ютерний алгоритм якісний критерій цілі, потім – кількісний, та отримати загальний якісно-кількісний оптимум. Іншими словами, вхідні параметри рішень (альтернативи) – це та безліч можливостей, з яких вибирають, а вихідні – це результати (позитивний і нейтральний), які маємо отримати під час вибору альтернатив для виконання завдання. Природно, що існує необхідність оцінювати рішення керівника при організації взаємодії особового складу і техніки, так званих розрахунків СІЗ, реально. Маючи кілька можливостей (альтернатив) взаємодії техніки та особового складу, керівник вибирає одну з них A_i , що дозволяє йому очікувати певний j -тий результат – безперечно позитивний вихід V_{ij} .

З викладеного, враховуючи дискретність виходів $(-1, 0, +1)$, зробимо припущення, що якісна ціль математично дорівнює кількісній ($\Pi_j = \Pi_k$), а факт їх дискретності можна формалізувати функцією реалізації цілі (Φ_j), яка «пробігає» три кількісних значення. Тоді кількісна цільова функція завжди повинна мати максимум: «+1».

Вихід V_{ij} при виборі альтернативи A_i , визначається вирішенням задач аналізу завчасно. Або при встановленні функціонального зв'язку Φ_j між альтернативами та виходами

$$V_{ij} = \Phi_j(A_i). \quad (1)$$

Цей зв'язок встановлює відповідність між реалізацією можливостей прийняття різних альтернатив, з одержанням виходу – конкретного результату.

З математичної точки зору форми опису функцій реалізації Φ_j можуть бути різними: впорядкованим набір-списком у вигляді таблиці або графіків, детерміністичної або статистичної залежності та ін. Взагалі тими матеріалами, що завчасно отримано теоретично чи експериментально. Особливістю тут є те, що набір-список альтернатив має бути, якомога повним, хоча, може бути і нескінченним.

Розглянемо далі запропонований нами циклічний алгоритм створення ТТЗ (рис. 3), де на першому етапі приймається рішення, о задіянні розробленої корисної моделі СПТМ. В нашому випадку, ціль це бажаний вихід, який при прийнятті однієї чи більшої кількості альтернативних рішень повинен призводити до позитивного виходу «+1». Лінемет повинен перекинути болванку через будівлю.

Тоді тяговий канат буде зафіксовано на даху в потрібному місті, як показано на рис. 1. Такий стан справ може бути досягнутий лише часткою альтернативних рішень з всього повного списку. В цьому сенсі наше ТТЗ пропонує керівникові підрозділу завчасні рішення, де екстремум функції Φ_j з досягненням якісної цілі має максимум:

$$\max \Phi_j = \Pi_j = +1. \quad (2)$$

де Π_j – екстремальне значення реалізації якісної функції цілі.

Блоки першого кроку алгоритму, включно до п'ятого блоку, відображають вибір раціональних рішень за суттєвим впливом на них параметрів, що аналізуються з якісної точки зору. В нашому випадку це дистанція S до об'єкту НС та кут α підвищення стволу лінемету (рис. 1).

Перший крок алгоритму ТТЗ по задіянню запропонованого СПТМ дозволяє керівнику робити приймати раціональні рішення, а разом з ними потім (на другому

кроці) – обрати оптимальне рішення до виконання аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт в висотних будинках при НС.

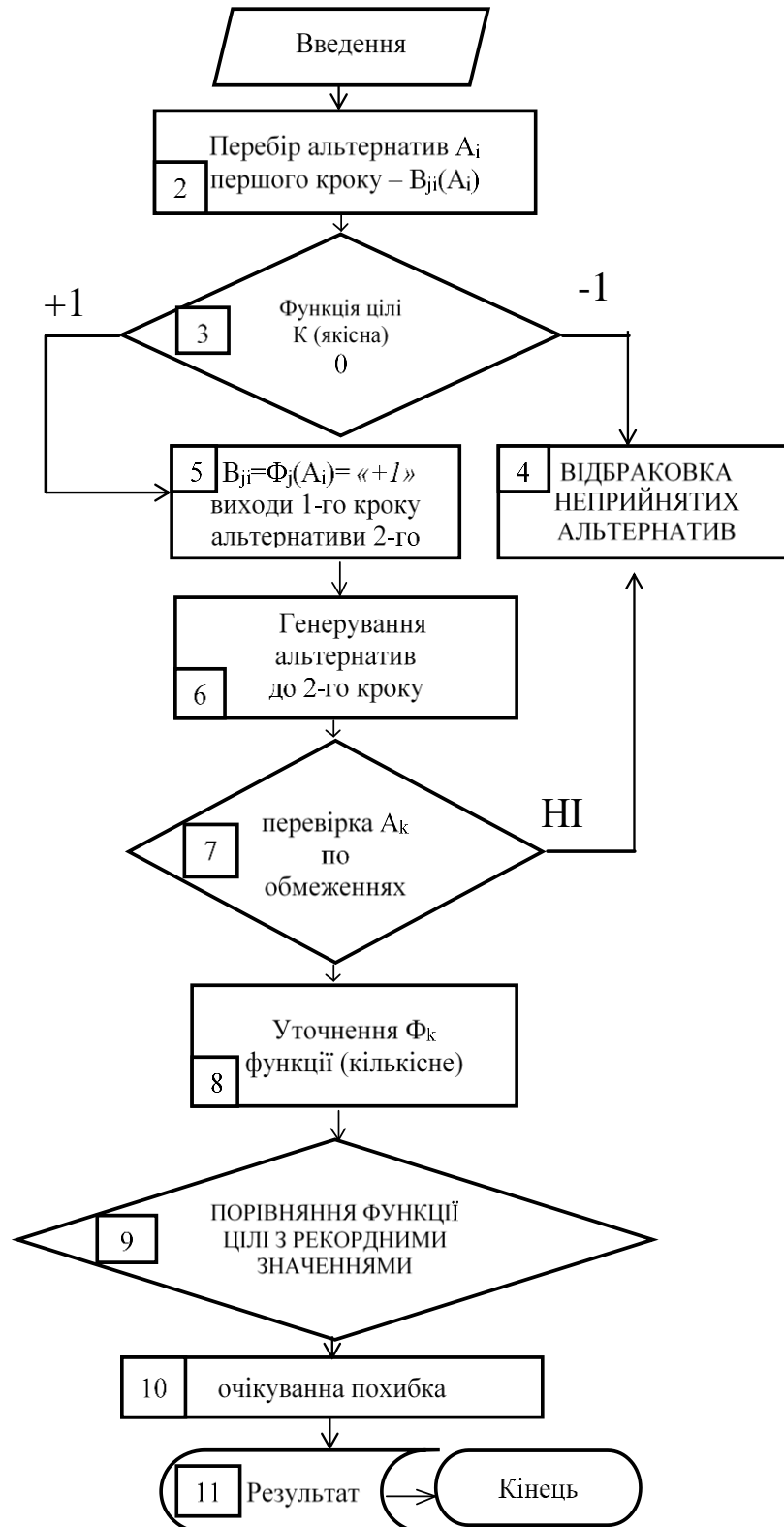


Рис. 3. Циклічний алгоритм створення ТТЗ для СПТМ

Під час імітаційних експериментів (рис. 4 а), які попередньо провадились на аналогу СПТМ, було отримано траєкторій руху контрольного вантажу, що перелітає через будівлю (рис. 4 б). Одну з них, вибірково, проаналізуємо з точки зору

розрахунків ТТЗ до прийняття раціональних рішень, пов'язаних з позитивно якісним фактом перекидання болванки через висотну будівлю (рис. 4 в).

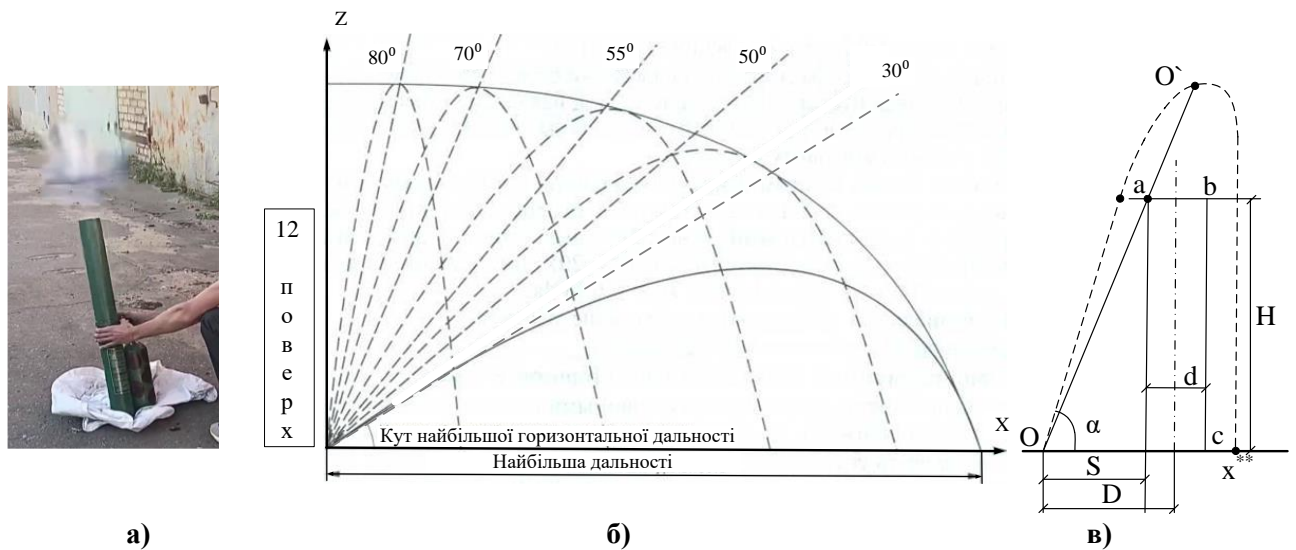


Рис. 4. Схемні апроксимації до: а – отримання експериментального сімейства траєкторій руху контрольного вантажу; б – траєкторій руху болванки; в – ТТЗ розрахунків

Математично, це тактико-технічне завдання прийняття рішень в умовах визначеності з якісною метою узагальнено може бути описане виразом:

$$\max C_{\text{я}}[\alpha, S, P, d, H, \dots], \quad (3)$$

де $C_{\text{я}}$ – якісна цільова функція, що може приймати значення, як було домовлено: «+1» і «0» – ціль досягнуто; «-1» – ціль не досягнуто.

При цьому, як й у військових справах з мінометами, маються аналогічні керовані та некеровані параметри завдання. До некерованих параметрів відносяться: H – висота будівлі та d – її ширина у глиб. Керованими, змінними є: P – робочий тиск у стволу лінемету (Мпа); α – кут метання болванки зі ствола лінемету, (град.); S – відстань від установки СПТМ до будівлі. Некеровані параметри задаються конкретними величинами, а змінні керовані накладаються обмеження, наприклад, як на разі:

$$P = \text{const}; 0 < \alpha < 89^\circ; S_{\min} < S < S_{\max}. \quad (4)$$

де S_{\min} – мінімальна відстань, на яку можна наблизити СПТМ до фасаду будинку, S_{\max} – максимальна відстань, на яку можна її віддалити від будівлі.

Обмеження (4) в більшості випадків ситуаційно зумовлені ландшафтом навколо будівлі. Разом з тим, для всіляких будівельних об'єктів, розташованих в зоні гіпотетичних зон НС, проводиться регулярне уточнення специфічних даних, що доповнюють обмеження, які вводять до бази даних. А щоб болванка, що була кинута пострілом з лінемету, опинилася за будівлею необхідно, щоб відрізок (OO') був більшим або дорівнював сумі відрізків (ab) і (bc) – рис. 4 в.

$$(OO') \geq (ab) + (bc), \quad (5)$$

де O' – точка траєкторії, в якій болванка знаходиться на максимальній висоті.

Іншими словами, спрощене завдання потребує, щоб болванка опинилася приблизно в точці X^{**} за будівлею. Результати розв'язання цієї задачі мають бути представлені у формі, що дозволяє швидко встановлювати раціональні параметри роботи СПТМ зі стаціонарної позиції. Їх бажано мати користувачеві за одним показником якості цільової функції $C_n = \ll +1 \gg$. Причому, додаткової інформації, про місце падіння болванки не потрібно, що дозволяє досягати цілі тільки раціональними вирішенням завдання вже на першому кроці алгоритму (рис. 3). У подібних випадках шукані траєкторії польоту болванки для реально керованих змінних α та S представляють апроксимованими інтерполяційними поліномами Лагранжу.

Зокрема, кожену траєкторію (рис. 4 б) було представлено за схемою побудови поліномів Лагранжа параметричними системами рівнянь, залежних від координат X і Z та часу t третього ступеню. Тоді, кожна з ліній траєкторій, що проходять через “реперні” точки експериментів запишеться у вигляді

$$\begin{aligned} X(t) &= A_1(\alpha)t^3 + B_1(\alpha)t^2 + C_1(\alpha)t, \\ Z(t) &= A_2(\alpha)t^3 + B_2(\alpha)t^2 + C_2(\alpha)t, \end{aligned} \quad (6)$$

де α – кут нахилу до горизонту ствола лінемету; t – поточний час.

Виключив з системи (6) параметр t , отримуємо шукану кубічну параболу

$$Z(X) = A_2(\alpha)X^3 + B_2(\alpha)X^2 + C_2(\alpha)X. \quad (7)$$

Її коефіцієнти по кожному α -досліді знаходилися розгляданням функцій

$$F_n(A_{2n}, B_{2n}, C_{2n}) = \sum (Y_i - Y(X_i))^2. \quad (8)$$

Її екстремум визначається з систем лінійних рівнянь щодо коефіцієнтів A_{2n} , B_{2n} , C_{2n} :

$$\frac{\partial F_n}{\partial A_n} = 0; \quad \frac{\partial F_n}{\partial B_n} = 0; \quad \frac{\partial F_n}{\partial C_n} = 0. \quad (9)$$

Маючи значення коефіцієнтів по кожному досліді, записуються інтерполяційні поліноми Лагранжу. В якості змінної, за якою проводилася апроксимація, вибрався кут α – кут піднесення ствола лінемету до горизонту.

Позначаючи поліноми Лагранжа як $L_1(\alpha)$, $L_2(\alpha)$, $L_3(\alpha)$, бачимо, що вони співпадають з коефіцієнтами A_{2n} , B_{2n} , C_{2n} для кожного n -го досліді:

$$A_{2n} = L_1(\alpha), \quad B_{2n} = L_2(\alpha), \quad C_{2n} = L_3(\alpha). \quad (10)$$

Таким чином, після визнання шуканих коефіцієнтів (при довільному значенні α математичний опис траєкторій можна вважати розв'язаним, так само, як і вирішення завдання створення ТТЗ при прийнятті позитивних якісних рішень задіяння СПТМ при НС.

Якщо схему 12-ти поверхового будинку (рис. 4 б) накласти на одну з відповідних траєкторій руху контрольного вантажу – нехай це буде траєкторія, кинутого вантажу під кутом $\alpha = 80^\circ$ (рис. 4 б), тоді тут можна констатувати, що одно з

позитивних рішень якісного прийняття рішення знайдено (рис. 2).

Згідно циклічного алгоритму створення ТТЗ (рис. 2) в блоці 5 будуть накопичуватись позитивні виходи якісного прийняття рішень, які на другому кроці при бажанні можуть стати альтернативами другого кроку – пошуку найкращого, оптимального кількісного рішення. Однак в нашій ситуації це не обов'язково. Як показали експерименти, витрати часу на позитивне задіяння СПТМ для БПШ майже не залежать від вибору позитивних альтернатив.

Проаналізуємо отримані результати, наведені в табл. 1 і на рис. 5, що є просотою номограмою до прийняття керівником підрозділу якісних рішень.

Табл. 1 Результати розв'язання задачі прийняття якісних рішень, щодо ТТЗ кидання болванки через 12-ти поверхову будівлю

α^0		55	60	65	70	75	80	85	89
Відстань, м	10	0	0	1	1	1	1	1	1
	12	0	0	1	1	1	1	1	0
	14	1	1	1	1	1	1	1	0
	16	1	1	1	1	1	1	0	0
	18	1	1	1	1	0	0	0	0
	20	1	1	0	0	0	0	0	0
	22	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	0	0	0	0	0	0	0	0

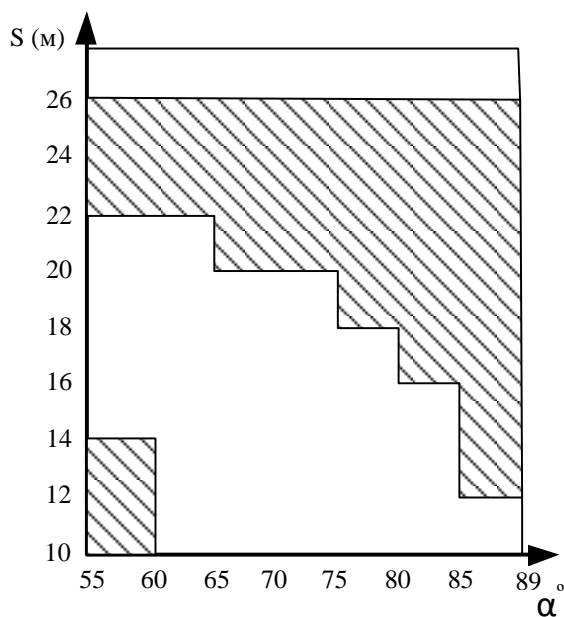


Рис. 5. Номограма до завдання пневмометання контрольного вантажу з рятувальним кінцем на поверхню землі через будівлю

При кутах нахилу ствола СПТМ до горизонту (близько до вертикалі) діапазон позитивних рішень, що дозволяють досягти бажаного якісного результату, буде відносно невеликим. Дійсно, з одного боку СПТМ бажано розташовувати до будівлі по можливості ближче. Проте не дуже близько, а то болванка впаде на дах або на землю перед будівлею після пострілу. З іншого боку, надто малі кути нахилу ствола установки до горизонту призведуть до того, що болванка не переле-

тять через будівлю, а «вріжеться» в його стіну. Ці міркування в табл. 1 позначено у двійчатому кодї, як «0» і «1», а на номограмі – чистими та заштрихованими площинками, відповідно.

7. Обговорення результатів дослідження ведення аварійно-рятувальних робіт на висотах будівель

Отримані позитивні результати пояснюються оперативністю налагодження комунікаційного зв'язку між верхніми поверхами будівлі та безпечною зоною на землі для рятування постраждалих з висот за більш ніж вдвічі коротких час, в порівнянні з використанням традиційних підйомно-транспортних машин.

Традиційно в галузі рятування людей і транспортування технічних вантажів при виконанні аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт в умовах надзвичайних ситуаціях та руйнуваннях у багатоповерхових будівлях, залучаються підйомно-транспортні машини (баштові та автомобільні крани, автодрабини й автопідйомники), які за допомогою причеплених кабін (люльок) здійснюють комунікаційний зв'язок між верхніми поверхами будівлі з землею. Принцип використання кабін (люльки) включено в основу запропонованої нетрадиційної СПТМ. Але тут традиційне маневрування вантажною стрілою крана (чи підйомника) з причепленою кабіною при роботі у вільному просторі пов'язано із значними втратами часу. Використання запропонованої конструкції СПТМ при її оперативному розгортанні та при виконанні аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт в складних умовах НС дозволяє суттєво зменшити витрати часу.

Запропонована нами складова ефективного (безпечного) проведення робіт на висотах в пошкоджених багатоповерхових будинках пов'язана з напрямом конструктивного синтезу зі складовими лінемету – пристрою оперативного наведення комунікаційного зв'язку з землею. Причому, бажано на шасї транспортного засобу. Завдяки розробленому спеціальному ТТЗ у вигляді номограм, досягається оперативність у виконанні аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт при НС у будівлях підвищеної поверховості.

Відносне обмеження, притаманне використанню СПТМ з пневмо-лінеметом, є спосіб пневмо-кидання болванки через багатоповерхові будинки. З рис.4 видно, що для того щоб болванка, що була кинута пострілом з лінемету, опинилася за будівлею необхідно, щоб відрізок (OO') був більшим або дорівнював сумі відрізків (ab) і (bc).

Щодо небажаних обмежень реалізації проекту на практиці, пов'язаних з можливим недостатнім робочим тиском в пневмо-камері лінемету, то одним із варіантів вирішення цієї проблеми є заміна на військовий міномет з параметрами його ТТЗ

Так чи інакше, розвиток даного дослідження пов'язано з труднощами експериментального характеру – визначення реперних точок, по яким будуються траєкторії руху болванки за допомогою апроксимаційних поліномів Лагранжу. В нашому випадку для цього знадобилось провадити експерименти з киданням болванки лінеметом на «фоні» БПП.

Керівник спеціального підрозділу, після оцінки обстановки на місці НС, з багатоповерховою будівлею, завдяки наявності номограм ТТЗ приймає рішення з 95% точністю вирішення завдання. З точки зору формальної логіки на цьому першому етапі прийняття рішення, графічний та табличний способи видачі результатів еквівалентні. Тим не менш, в розглянутому прикладі вхідними даними до прийняття рішень є: доцільне місце розташування установки (S), а вихідними – кут нахилу ствола лінемету до горизонту (α).

8. Висновки

1. Розроблено конструкцію спеціальної підйомно-транспортної машини на шасі транспортного засобу для ведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт при надзвичайних ситуаціях в висотних будівлях та спорудах. Проведено аналіз роботи традиційних і не традиційних технічних засобів, що використовуються для організації всіляких ремонтних і рятувальних робіт в екстремальних ситуаціях на висотах при надзвичайних ситуаціях. Принцип роботи запропонованої конструкції спеціальної підйомно-транспортної машини дозволяє в порівнянні з іншими підйомно-транспортними машинами, у двічі зменшити час розгортання до задіяння, який для спеціальної підйомно-транспортної машини складає (15–20 хв). Підтверджено доцільність використання кабін-люльок для аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт. В такій конфігурації спеціальна підйомно-транспортна машина спроможна забезпечити миттєву евакуацію постраждалих з верхніх поверхів багатоповерхових будинків і дозволяє видаляти уламки зруйнованих конструкцій, постачати туди засоби ведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, тощо. Конструкція спеціальної підйомно-транспортної машини забезпечує безпечне для особового складу наближення до об'єкту надзвичайної ситуації та надання допомоги людям, які постраждали в надзвичайних ситуаціях.

2. Розроблено тактико-технічне забезпечення ефективного використання спеціальної підйомно-транспортної машини для ведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт при надзвичайних ситуаціях в висотних будівлях та спорудах. Сформульовано і реалізовано двох етапний циклічний алгоритм прийняття рішень, що поєднує якісний відбір раціональних альтернатив і при необхідності його кількісну оптимізацію. Алгоритм реалізовано у вигляді номограми та таблиць, що значно спрощує ефективне задіяння спеціальної підйомно-транспортної машини, не потребуючий фахівців високої кваліфікації. На конкретному прикладі роботи такої машини на 12-ти поверховому будинку, що отримав сильні руйнування, запропоновано набір 95 % позитивних рішень до вибору раціональних параметрів: розміщення спеціальної підйомно-транспортної машини на відповідних дистанціях від об'єкту, та кутів прицілювання допоміжного кидального пневмо-пристрою типу міномет. Все це дозволяє оперативно приймати рішення без складних розрахунків.

Література

1. Bielikova N., Levanda O. Impact of Armed Conflicts on Territorial Development: Assessing Environmental Risks and Consequences in Ukraine. *Science and Innovation*. 2025. Vol. 21(3). P. 29–38. doi: 10.15407/scine21.03.029

2. Demian P., Hassan T., Kalmykov O., Demianenko I., Makarov R. BIM Implementation in Post-War Reconstruction of Ukraine. *Buildings*. 2024. Vol. 14(11). P. 3495. doi: 10.3390/buildings14113495

3. Ostapov K., Ragimov S., Senchykhin Y., Avetisian V. Increasing the Fire Protection Efficiency of Metal Building Structures. *Defect and Diffusion Forum*. 2024. Vol. 437. P. 79–90. doi: 10.4028/p-go9qXN

4. Li T., Zhong M., Fei L. Selection of high-arm fire trucks for urban emergency preparedness based on evidential linguistic CRITIC-BWM approach. *Expert Systems with Applications*. 2025. Vol. 287. 128064. doi: 10.1016/j.eswa.2025.128064

5. Rahouti A., Datoussaïd S., Descamps T. Safety assessment of a high-rise dor-
civil security. DOI: 10.52363/2524-0226-2026-43-5

mitory in case of fire. International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment. 2018. Vol. 9. Issue 1. P. 84–95. doi: 10.1108/IJDRBE-10-2016-0039

6. Mattingsdal H., Nordgaard T., Abrahamsen E., Sovik S., Ottestad W. Workload in helicopter rescue operations – A comparison of two different rescue methods in a randomized cross-over design. Safety Science. 2025. Vol. 192. 106996. doi: 10.1016/j.ssci.2025.106996

7. Li T., Fei L. Exploring obstacles to the use of unmanned aerial vehicles in emergency rescue: A BWM-DEMATEL approach. Technology in Society. 2025. Vol. 81. 102863. doi: 10.1016/j.techsoc.2025.102863

8. Zare S., Hemmatjo R. Comparison of the effect of typical firefighting activities, live fire drills and rescue operations at height on firefighters' physiological responses and cognitive function. Ergonomics. 2018. Vol. 61(10). P. 1–26. doi: 10.1080/00140139.2018.1484524

9. LALIZAS Pneumatic Line Throwing Device. SOLAS/MED/USCG. Set. URL: <https://www.lalizas.com/products/marine-distress-signals-pyrotechnics/pneumatic-line-throwing-device>

10. Wang Z., Xiong W., Wang H. Modeling, simulation and experiment of a pneumatic line-thrower. 2015. Vol. 26. P. 1434–1437. doi: 10.3969/j.issn.1004-132X.2015.11.003

11. Wang Z., Xiong W., Wang H., Wang Z. Exergy analysis of the pneumatic line throwing system. International Journal of Exergy (IJEX). 2016. Vol. 19. № 3. doi: 10.1504/IJEX.2016.075669

12. Jie R., Zhong J., Yao L., Guan Z. Experimental Investigation and Theoretical Modelling of a High-Pressure Pneumatic Catapult Considering Dynamic Leakage and Convection" Entropy. 2020. Vol. 22. № 9. P. 1010. doi:10.3390/e22091010

V. Rudenko¹, Postgraduate Student

K. Ostapov², PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

Y. Senchykhyn², PhD, Professor, Professor of the Department

N. Dolhopolov³, PhD, Senior Lecturer of the Department

D. Beliuchenko¹, PhD, Deputy Head of the Department

V. Avetisian², PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

¹*Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine*

²*National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine*

³*Kharkiv State Academy of Physical Culture, Kharkiv, Ukraine*

IMPROVING EMERGENCY RESCUE OPERATIONS AT HEIGHTS OF BUILDINGS

The efficiency and safety of conducting emergency rescue and other urgent work in the event of an emergency in high-rise buildings and structures using non-traditional means of conducting emergency rescue work have been increased. An efficient and safe design of a special lifting and transport vehicle has been proposed for conducting emergency restoration and emergency rescue work in high-rise buildings and buildings of increased storeys, which were damaged by explosions of domestic gas and as a result of enemy attacks on Ukrainian infrastructure during the Russian aggression. The speed of deployment and use for conducting emergency rescue and other urgent work of this non-traditional mobile device exceeds the indicators of traditional similar vehicles in terms of their efficiency. The features of conducting various emergency and rescue operations in high-rise buildings and in high-rise buildings that took place in the pre-war period and during the war have been analyzed. The designed useful model is capable of effectively and safely participating in the localization and elimination of emergency situations, especially those associated with the presence of victims at heights, without unnecessary time expenditure. For the rational use of the proposed design of a special lifting and transport machine, a computer algorithm of cyclic two-step calculations of tactical and technical support has been created. Recommendations for its practical receipt and use are given. A rational and optimal decision-making

scheme for the use of a special lifting and transport machine has been generalized, which has elements of qualitative and quantitative approaches to the creation of tactical and technical support. For an example of qualitative decision-making regarding the use of such unconventional lifting and transport machines based on the construction of Lagrange approximation polynomials of the third degree, a working nomogram has been developed in the form of simple instructions to the user.

Keywords: multi-story buildings, explosions, destruction, lifting and transport machines, Lagrange polynomials

References

1. Bielikova, N., Levanda, O. (2025). Impact of Armed Conflicts on Territorial Development: Assessing Environmental Risks and Consequences in Ukraine. *Science and Innovation*, 21(3), 29–38. doi: 10.15407/scine21.03.029
2. Demian, P., Hassan, T., Kalmykov, O., Demianenko, I., Makarov, R. (2024). BIM Implementation in Post-War Reconstruction of Ukraine. *Buildings*, 14(11), 3495. doi: 10.3390/buildings14113495
3. Ostapov, K., Ragimov, S., Senchykhin, Y., Avetisian, V. (2024). Increasing the Fire Protection Efficiency of Metal Building Structures. *Defect and Diffusion Forum*, 437, 79–90. doi: 10.4028/p-go9qXN
4. Li, T., Zhong, M., Fei, L. (2025). Selection of high-arm fire trucks for urban emergency preparedness based on evidential linguistic CRITIC-BWM approach. *Expert Systems with Applications*, 287, 128064. doi: 10.1016/j.eswa.2025.128064
5. Rahouti, A., Datoussaïd, S., Descamps, T. (2018). Thierry Descamps Safety assessment of a high-rise dormitory in case of fire. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 9, 1, 84–95. doi: 10.1108/IJDRBE-10-2016-0039
6. Mattingsdal, H., Nordgaard, T., Abrahamsen, E., Søvik, S., Ottestad, W. (2025). Workload in helicopter rescue operations – A comparison of two different rescue methods in a randomized cross-over design. *Safety Science*, 192, 106996. doi: 10.1016/j.ssci.2025.106996
7. Li, T., Fei, L. (2025). Exploring obstacles to the use of unmanned aerial vehicles in emergency rescue: A BWM-DEMATEL approach. *Technology in Society*, 81, 102863. doi: 10.1016/j.techsoc.2025.102863
8. Zare, S., Hemmatjo, R. (2018). Comparison of the effect of typical firefighting activities, live fire drills and rescue operations at height on firefighters' physiological responses and cognitive function. *Ergonomics*, 61(10), 1–26. doi: 10.1080/00140139.2018.1484524
9. LALIZAS Pneumatic Line Throwing Device. (2025). SOLAS/MED/USCG. URL: <https://www.lalizas.com/products/marine-distress-signals-pyrotechnics/pneumatic-line-throwing-device>
10. Wang, Z., Xiong, W., Wang, H. (2015). Modeling, simulation and experiment of a pneumatic line-thrower, 26, 1434–1437. doi: 10.3969/j.issn.1004-132X.2015.11.003
11. Wang, Z., Xiong, W., Wang, H., Wang, Z. (2016). Exergy analysis of the pneumatic line throwing system. *International Journal of Exergy (IJEX)*, 19, 3. doi: 10.1504/IJEX.2016.075669
12. Jie, R., Zhong, J., Yao, L., Guan, Z. (2020). Experimental Investigation and Theoretical Modelling of a High-Pressure Pneumatic Catapult Considering Dynamic Leakage and Convection" *Entropy*, 22, 9, 1010. doi:10.3390/e22091010

Надійшла до редколегії: 16.03.2026

Прийнята до друку: 15.05.2026

Дата публікації (оприлюднення): 30.05.2026