

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)

Кафедра будівельної механіки
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістра
(назва освітнього ступеня)

на тему: **Технічне обстеження будівель і споруд за допомогою
безпілотних літальних апаратів**

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МБнм-61
спеціальності 192

Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Гураль О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Ясній В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Данильченко С.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Ясній В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Будівельної механіки
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ясній В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

студенту Гураль Остапу Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Технічне обстеження будівель і споруд за допомогою безпілотних літальних апаратів

Керівник роботи Ясній Володимир Петрович, д.т.н., доцент.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «___» _____ 20__ року № _____

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Провести технічне обстеження стану цегляної димової труби за допомогою безпілотного літального апарату, провести порівняння та зробити оптимальний вибір безпілотного літального апарату

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз останніх публікацій та огляд літературних джерел за темою досліджень; методика проведення обстежень; аналіз результатів обстежень; охорона праці та безпека у надзвичайних; загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Обстеження моста за допомогою БПЛА; обстеження конструкцій моста; обстеження залізобетонних конструкцій; таблиця використання БПЛА в будівництві; приклад польотного завдання; бепловізійна зйомка; ситуацій план місцевості; аерофотофіксація ділянки розміщення труби; дрон DJI Mini 2; демонстрація зльоту дрона з руки; інтерфейс додатку DJI Fly; цегляна димова труба; схема вітрового навантаження; схема постійного навантаження; модель димової труби з нумерацією вузлів виконана в ПК «SCAD OFFICE»; розрахункова схема цегляної труби

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каспрук В.Б., к.т.н., доц.		
Нормоконтроль	Данильченко С.М. ст. викл.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. ст. викл.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури	07.11.2021	
2	Постановка мети та задач досліджень	01.12.2021	
3	Підбір БПЛА для виконання обстеження	15.12.2022	
4	Підбір приладів вимірювання	20.01.2022	
5	Проходження навчання з пілотування БПЛА	14.02.2022	
6	Проведення обстеження димової труби	28.02.2022	
7	Статистична обробка результатів	29.03.2022	
8	Аналіз отриманих результатів	25.04.2022	
9	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	01.05.2022	
10	Загальні висновки	15.05.2022	

Студент

_____ (підпис)

Гураль О.О.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Ясній В.П.

_____ (прізвище та ініціали)

Зміст

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1	7
ОГЛЯД НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ЛІТЕРАТУРИ	7
1.1 Актуальність застосування Безпілотних літальних апаратів в сучасному будівництві	7
1.2 Обстеження промисловим протиударним квадрокоптером Elios мостів та шляхопроводів	9
1.3 Проблеми при обстеженні мостів	9
1.4 Досвід використання системи телеінспекції на основі протиударного квадрокоптера ELIOS для обстеження будівлі після пожежі	13
1.5 Стан та актуальність наукової задачі в Україні	17
Висновок до розділу 1	18
РОЗДІЛ 2	19
МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	19
2.1 Програма досліджень	19
2.2 Загальна характеристика об'єкту обстеження.	24
2.2.1 Характеристика об'єкту обстеження	25
2.2.2 Конструктивні рішення	26
2.3 Методика обстеження конструкцій та елементів споруди	27
2.3.1. Характерні конструкції та елементи споруди, що підлягають обстеженню	27
2.3.2 Загальна класифікація технічного стану конструкцій та будівель в цілому	27
2.4 Прилади та вимірювальні інструменти	29
2.5 Порівняльні характеристики БПЛА	30
2.6 Огляд обраного БПЛА	32
Висновки до розділу 2	38
РОЗДІЛ 3	39
АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	39
3.1 Аналіз результатів обстеження та технічного стану	39

3.1.1 Результати візуального та інструментального огляду конструкцій частин будівлі	39
3.2.2 Навантаження на димову трубу:	45
3.2.3 Розрахункові положення	48
3.3 Розрахунок з розрахункового комплексу SCAD	52
Висновок до розділу 3	57
РОЗДІЛ 4	60
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	60
4.1 Охорона праці	60
4.2 Правила з техніки безпеки при роботі з БПЛА.....	62
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	63
4.3.1 Підвищення стійкості роботи підприємств будівельної галузі у військовий час	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	68
БІБЛІОГРАФІЯ.....	70

ВСТУП

Традиційно візуальне обстеження проводиться спеціалістами, що спеціалізуються на обстеженнях будівель та споруд. Проте ця практика має ряд недоліків, таких як висока вартість робіт, велика тривалість процесу, недостатня конкретизація місцезнаходження ушкоджень та недостатня точність визначення геометричних характеристик ушкоджень. Запропоновано метод візуального обстеження димових труб за допомогою БПЛА, що дозволяє здешевити та прискорити процес, а також вперше запропоновано застосувати розроблений метод для обробки результатів фотозйомки поверхні споруди, що виробляється за допомогою БПЛА.

Актуальність теми роботи визначається тим, що на разі використання БПЛА при обстеженні будівель і споруд не достатньо досліджене. Разом з розвитком будівельної галузі стає актуальним застосування новітніх технологій, які допомагають збільшити точність та ефективність обстежень, зменшити вартість, та мінімізувати використання людських ресурсів при виконанні обстежень. Також не завжди безпечно та економічно доцільно проводити дослідження в висотних спорудах, або спорудах які неможливо перестати експлуатувати на момент проведення обстеження

Мета і задачі роботи. Дослідження ставлять на меті показати та описати можливості використання БПЛА при обстеженні цегляної димової труби.

Для того, щоб досягти мету було складено список *задач*:

- розробити та удосконалити методику програми експериментальних досліджень споруди за допомогою БПЛА
- провести обстеження для виявлення недоліків в конструкції цегляної димової труби
- підсумувати та розібрати отримані в ході обстеження результати та зробити висновки на рахунок технічного стану цегляної димової труби

Об'єктом дослідження є цегляна димова труба.

Предметом дослідження є обстеження технічного стану цегляної димової труби за допомогою БПЛА.

Методи дослідження. Аналіз доступної теоретичної бази, статистичний аналіз, візуальне обстеження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота по технічному обстеженню будівель і споруд за допомогою БПЛА, виконана за напрямком наукових досліджень кафедри будівельної механіки ТНТУ.

Наукова новизна одержаних результатів:

- методика досліджень будівель і споруд за допомогою БПЛА, отримала подальший розвиток;
- отримано нові дані по можливостях використання БПЛА при технічних обстеженнях будівель і споруд.

Практичне значення одержаних результатів.

Визначені в ході роботи дані доцільно враховувати при наступних дослідженнях та обстеженнях будівель і споруд, незалежно від висоти та умов експлуатації об'єкта. Також дане дослідження буде актуальне при виборі БПЛА для виконання задач з обстеження та інспекції.

Апробація результатів магістерської роботи. Результат роботи опубліковано на V міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», 28-29 квітня 2022 року, у м. Тернопіль.

Публікації. Результат роботи опубліковано на V міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», 28-29 квітня 2022 року, у м. Тернопіль, О.О. Гураль «Технічне обстеження будівель і споруд за допомогою безпілотних літальних апаратів».

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, технічне обстеження, будівництво.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Актуальність застосування Безпілотних літальних апаратів в сучасному будівництві

Вже на сьогоднішній день досить значною є шкода завдана промисловим та цивільним об'єктам нашої країни, тому найближчим часом важливим та актуальним буде питання оцінки та доцільності відновлення пошкоджених будівель та споруд. Для пришвидшення цього процесу та з метою безпеки спеціалістів під час обстеження об'єктів у важкодоступних місцях чи місцях які можуть бути замінованими, доречним буде використання БПЛА. БПЛА (Безпілотний літальний апарат) - повітряне судно, призначене для виконання польоту без пілота на борту, керування польотом якого і контроль за яким здійснюються відповідною програмою або за допомогою спеціальної станції керування, що знаходиться поза повітряним судном[1]. Через їхню різноманітність і відносну дешевизну в використанні (порівняно з аналогічними затратами на виконання такої ж роботи людьми) буде легко підібрати універсальний БПЛА, який покриє більшість поставлених перед ним завдань.

БПЛА, здійснюючи вертикальний зліт і посадку у обмеженому просторі, зависаючи над різними об'єктами, дозволяють вирішувати задачі контролю, спостереження і обстеження. Такий апарат має можливості прямого спостереження і розвідки, наділений маневреністю, достатньо великою швидкістю обробки інформації, швидкістю переміщення, незалежністю від характеру нерівноцінності поверхні, вздовж якої рухається апарат (на відміну від мобільних роботів на гусеничній платформі). Зазначені якості визначають можливості використання його у складних і небезпечних середовищах, де неприпустима, без попередньої розвідки, участь людини. Особливе місце займають роботи, пов'язані з безпекою будівельних робіт.

Основна тенденція у вирішенні задач моніторингу будівельної індустрії – широке використання технології БПЛА для аеровізуального спостереження за технічним станом промислової інфраструктури, а також для контролю за розвитком небезпечних техногенних процесів з метою забезпечення безпеки і мінімізації ризику виникнення надзвичайних ситуацій. Особливе місце займають роботи, пов'язані з безпекою будівельних робіт, обстеження споруд з метою виявлення ділянок, потенційно аварійно небезпечних. Визначення технічного стану будівель виконується візуальним і візуально-інструментальним методами із залученням спеціально підготовлених робітників. Таке обстеження є трудомістким, а в окремих випадках – навіть небезпечним, процесом. У випадку руйнування будівель здійснення аварійно-рятувальних та відновлювальних робіт здатне ускладнитись внаслідок порушення рівноваги обвалених конструкцій, захаращення підходів до об'єкту уламками будівельним сміттям, недостатніми габаритами шляхів руху та отворів тощо. Підйом на верхні поверхи зруйнованої будівлі або до вікон з метою обстеження приміщень, потребує монтажу спеціальних риштувань або драбин у нестійких умовах що створює небезпеку роботи. Не маючи відомостей щодо масштабів обвалень, важко оцінити працездатність відновлювання об'єкту. Тому важливим є використання БПЛА для попередньої розвідки і оцінки обсягів необхідних робіт.

Для забезпечення необхідного рівня вирішення багатьох із зазначених вище завдань потрібно підвищити надійність та безпеку використання безпілотних авіаційних комплексів, забезпечення простоти експлуатації та зниження вартості таких комплексів. Крім цих технічних та економічних проблем належить ще подолати адміністративні проблеми інтеграції безпілотних літальних засобів у національний та міжнародний повітряний простір.

Таким чином використання БПЛА підвищить якість виконання робіт в сфері обстеження будівель та споруд, а також зменшить витрати, та використання людських ресурсів.

1.2 Обстеження промисловим протиударним квадрокоптером Elios мостів та шляхопроводів

Обстеження мостів за допомогою квадрокоптера ідея не нова, але мало де використовується. Причина цього – пошкодження гвинтів дрона під час обстеження. Завдяки своєму протиударному сферичному каркасу з вуглепластику, БПЛА Elios [2] є найсучаснішим в галузі.



Рис. 1.1 – Обстеження моста за допомогою захищеного дрона Elios

Захищений від ударів квадрокоптер Elios задіяний для огляду мостів у Міннесоті, США. Безпілотник досліджував важкодоступні місця автомобільних мостів між ригелями та коробчастими балками. Elios використовувався для двох різних типів обстежень:

- політ під мостами для перевірки потенційних проблем, включаючи доступ до важкодоступних просторів між балками;
 - політ в обмежених просторах коробчастих балок на великих мостах.
- Обидва завдання компанії заощадили значну кількість часу, грошей та ресурсів, одночасно сприяючи безпеці обстежень. Квадрокоптер зібрав достатньо фото та відео матеріалів для оцінки стану мостів.

1.3 Проблеми при обстеженні мостів

Міннесота має майже 13000 мостів, що перетинають тисячі річок та озер штату. Орієнтовно 10% цих об'єктів інфраструктури було побудовано до 1948

року. Для фахівців із Collins, які проводять обстеження цих мостів, економія часу та грошей має супроводжуватися переконливими наочними даними про стан бетонних та металевих елементів конструкцій. Основним завданням інспекційної компанії є надання детальних та точних даних своєму клієнту. Мости повинні перевірятись регулярно – ті, які вважаються найбільш уразливими, перевіряються щороку, але більшість мостів перевіряються кожні два роки. Інженери перевіряють мости, щоб знайти такі проблеми, як тріщини в бетоні, або рух мосту, корозія, та іржа. Ці індикатори свідчать, що міст може вимагати більш детального обстеження. Без дрону огляд нижньої сторони конструкцій в обмеженому просторі може бути дуже дорогим.

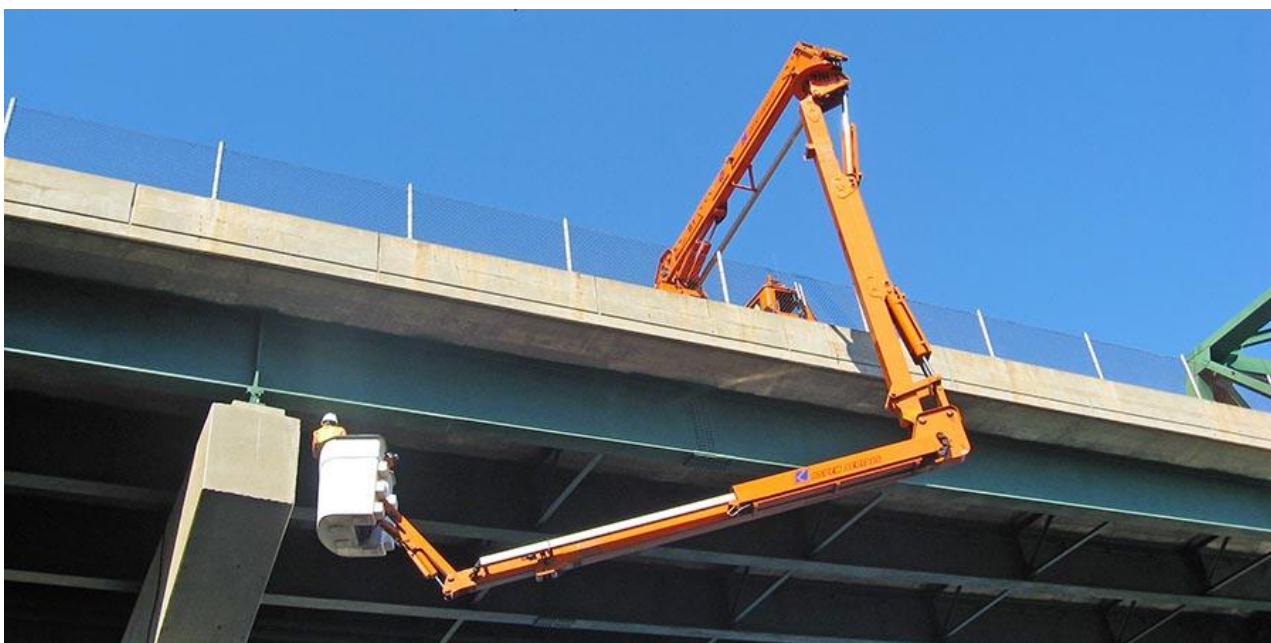


Рис. 1.2 – Обстеження моста за допомогою автомобіля з маніпулятором

Зазвичай така робота виконується за допомогою спеціального візка, здатного підніматися на 3 метри від поверхні та долати нахили до 45 градусів або спеціального автомобіля з маніпулятором. Таке обладнання коштує понад 600 000 доларів США, а його оренда коштує більш ніж 2500 доларів на день. При його використанні потрібен контроль руху в місці проведення робіт та багато часу. Оглядовий рухомий візок повинен керуватися персоналом: оператором та техніком з будівництва та експлуатації мостів у кошику візка. Навіть із таким

спеціалізованим візком, простір між прогонами під мостом важкодоступний для огляду. Крім того, оскільки вартість огляду невеликих мостів таким візком є досить високою, ці мости часто не є пріоритетними для інспекцій.

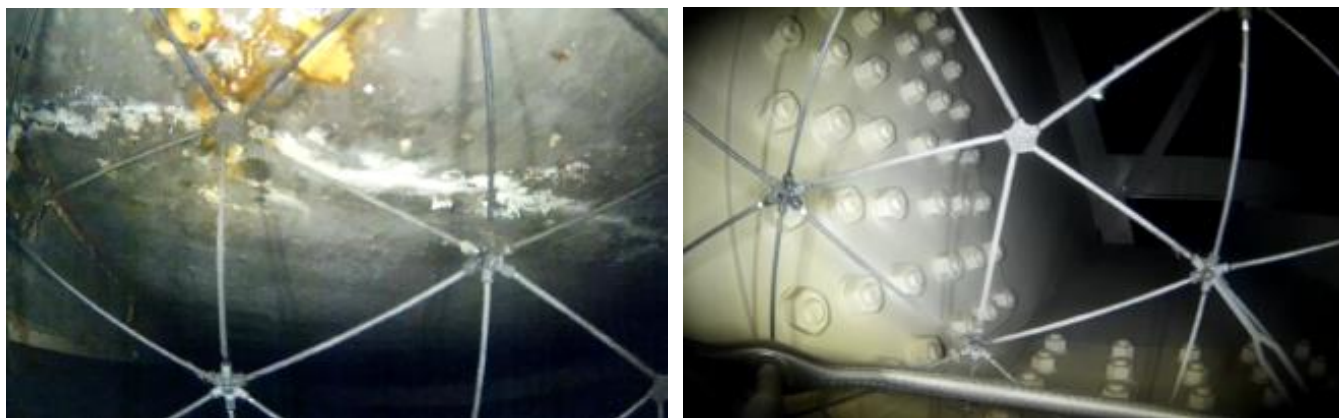
Як частина огляду великих мостів, інженери Collins також відповідальні за Ця перевірку в обмеженому просторі усередині коробчатих балок. На стіни коробчастих балок спираються залізобетонні плити проїжджої частини мосту. Ці елементи конструкції піддаються значному навантаженню, тому їх регулярно потрібно обстежувати. Для проведення такого обстеження без використання Elios, необхідно встановлювати риштування усередині так, щоб інженери-будівельники могли виконати візуальний контроль. Процес встановлення та огляду вимагає багато часу, зазвичай задіяно 2 або 3 особи і це досить небезпечне заняття. Експерти Collins Engineers використовували протиударний дрон Elios компанії Flyability для того, щоб літати під мостами, в просторі між прогонами та іншими областями, важкодоступними для традиційних методів огляду. Також, вони використали Elios для того, щоб обстежити коробчасті балки на великих мостах без додаткових складних пристроїв. Інженери зберігають відео, для того щоб проаналізувати зміни, які відбудуться під час наступних оглядів, надають докладний звіт про перевірку, включаючи фотографії, що наочно підтверджують стан конструкцій мосту.

Використання БПЛА Elios замість спеціалізованого візка або машини для обстеження нижньої сторони мостів забезпечує суттєву економію, та дозволяє надавати замовникам більше даних, при більш частих обстеженнях. Безпілотник компактний і не потребує спецтранспорту, не вимагає додаткового часу, щоб дістатися місця обстеження, керується однією людиною в порівнянні з 2 або більше людьми, необхідними для роботи візка або автомобіля з маніпулятором. Склавши разом вартість оренди вантажівки, витрати на водія, інженера-будівельника з обстеження мостів, а також вартість доставки, виходить близько 50% економії ,що здатен заощадити Дрон Elios при візуальному огляді моста.

Додатково дрон дозволяє інженеру побачити важкодоступні області між балками. Для мостів це найкращий спосіб проведення огляду швидко і без зайвих

витрат. Так ми детальніше можемо вивчити всі мостові конструкції та прольоти, оскільки є можливість забратися у важкодоступні місця». При огляді коробчатих балок Elios дозволяє скоротити час обстеження щонайменше на 25%. Економія часу збільшується, коли потрібні інші дії, такі як установка риштування. Дрон Elios може керуватися однією людиною, а не 2 або 3, як при огляді на риштуванні. Економія часу персоналу призводить до економії коштів. Середня річна зарплата інженера-будівельника, що спеціалізується на обстеженні мостів у США становить \$84,140. Економія часу при настроюванні, відсутність необхідності у двох додаткових фахівцях дозволяє заощадити близько 1000 дол. США на одну інспекцію лише за рахунок економії персоналу. Додаткові перевірки, які можуть бути проведені шляхом вивільнення робочої сили, є додатковим стимулом підвищення продуктивності. Крім економії часу та витрат на інспекції, безпілотний літальний апарат дозволяє забезпечити економію в майбутньому.

Безпілотні літальні апарати забезпечують інспекторам мостів значну економію часу та витрат на первинному візуальному контролі, надаючи клієнтам докладніші дані для ефективного розподілу ресурсів. Більш достовірні та повні дані дозволяють клієнтам ретельніше керувати ресурсами та раціонально планувати технічне обслуговування та ремонт, забезпечуючи в перспективі кращу ефективність.



а)

б)

Рис. 1.3 – Фотоматеріали обстеження конструкції моста

а) стан залізобетонної частини моста; б) стан металевих елементів кріплення;

1.4 Досвід використання системи телеінспекції на основі протиударного квадрокоптера ELIOS для обстеження будівлі після пожежі

Це ще одна область, де замість людей можуть застосовуватись промислові квадрокоптери. Обстеження будівлі за допомогою дрона дозволяє в реальному часі отримати інформацію про наявність і характер дефектів, оцінити обсяги збитків від пожежі, не наражаючи людей на небезпеку[3].

Сильна пожежа спалахнула на багатоповерховій автостоянці Liverpool Echo Arena 31 грудня 2017 року. Як тільки пожежа була взята під контроль та загашена, безпека огляду місця НП стала предметом найбільшої стурбованості пожежників та власників будівлі. Відділ МНС Ліверпуля вирішив використати протиударний промисловий квадрокоптер Flyability Elios для безпечного обстеження наслідків пожежі.

Переваги використання БПЛА при обстеженні будівлі:

- БЕЗПЕКА Жодної небезпеки для життя людей. Пожежним не потрібно входити до згорілої будівлі, щоб оцінити збитки від пожежі, за людей все зробить квадрокоптер з відеокамерою та тепловізором.
- ДОСТУПНІСТЬ Можливість збору даних за межами прямої видимості. Відео з дрону передається Wi-Fi на планшет або смартфон оператора на відстані до декількох сотень метрів.
- ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ Зібрані за допомогою квадрокоптера дані послужили основою для оцінки структурної цілісності конструкцій та прийняття рішень про збереження або знесення будівлі.

Про джерело пожежі повідомив очевидець, який описав автомобіль, що загорівся, припаркований на 3-му поверсі сучасної 7-поверхової будівлі, побудованої в 2006 році. Приблизний розмір паркінгу 70м на 60м монолітний залізобетон. Усередині було близько 1400 автомобілів, більшість з яких були знищені вогнем. Обставини цього інциденту унікальні. Вогонь поширився напрочуд швидко через паливо в паливних баках припаркованих поряд автомобілів. Для звичайних житлових будинків та громадських будівель

температури горіння всередині приміщення не перевищують 800-900 °С. За оцінками пожежників, температура пожежі на парковці перевищила 1500 °С, це підтверджує той факт, що швидкого розповсюдження вогню сприяв бензин. Такої температури більш ніж достатньо для руйнування бетону та залізобетонних конструкцій.

Пожежа такої інтенсивності викликала серйозне занепокоєння щодо цілісності конструкції будівлі. Навколо цієї споруди тягнулися пішохідні зони. Стадіон «Ехо Арена» знаходився приблизно за 20 метрів, а житловий блок розташований від постраждалої будівлі на відстані 5 метрів. Найбільше занепокоєння викликала громадська безпека. Попередні обстеження, проведені пожежно-рятувальною службою Мерсісайда, міською радою Ліверпуля та Організацією структурної безпеки, були проведені за першої ж нагоди. На жаль, ці дослідження були обмежені через руйнування, викликані пожежею.



Рис. 1.4 – Протиударний квадрокоптер обстежує місце пожежі

Хоча несуча частина споруди, здавався неушкодженою і зберігала структурну цілісність, доступ до кількох поверхів був неможливий і дуже небезпечний. Поверхи були надто небезпечні для роботи пожежників, вони отримали значні пошкодження та кілька обвалень. З торців будівлі знаходилися сходи, які залишилися непошкодженими, крім деяких структурних тріщин і деформацій. Ці сходи забезпечували доступ на всі поверхи. Електрику в будівлі

відключили з міркувань безпеки, усередині не було освітлення і було дуже темно. Практично не було жодної можливості оглянути будівлю. У таких умовах потрібно отримати дані з небезпечних зон, з пристрою, який міг би працювати автономно не торкаючись підлоги і передавати дані в режимі реального часу. Було вирішено застосувати БПЛА. PCF Surveys провели попереднє візуальне обстеження об'єкта та виявили ряд проблем, при яких використання звичайних дронів у цьому місці було неможливим. Ці проблеми включали відсутність сигналу GPS, багато сміття, висячі дроти та інші фізичні перешкоди та дуже погане освітлення. Іншою проблемою була відсутність прямої видимості. У інструкції правління цивільної авіації сказано, що оператор БПЛА має підтримувати візуальний контакт із дроном. Хоча промисловий протиударний дрон Elios успішно працює в багатьох областях, він ніколи ще не експлуатувався за таких умов.

Перед тим, як запустити дрон в обгорілу парковку, був отриманий плани будівлі. Місце займання було лише приблизним, його і потрібно було встановити. Це була ключова мета місії. Було вирішено, що колони та балки, розташовані найближче до місця займання, можливо, зазнали впливу найвищих температур, і вони також були ключовим об'єктом обстеження. З огляду на те, що вогонь поширився незвичайним чином, як вгору, так і вниз, дренажні канали з алюмінієвим жолобом також були ключовою метою, їх треба було оглянути. Квадрокоптером Elios керував пілот з безпечних місць, переважно зі сходових прольотів на північній та південній сторонах будівлі. Це дозволило мати кілька точок спостереження, та підтримувати візуальний контакт з дроном під час пілотування. Програмне забезпечення дрона Elios дозволяє пілоту залишати коментарі, що було необхідно під час перегляду відеозапису після виконання завдання. Це допомогло скласти детальний звіт про місця, які обстежив Elios, що дозволило провести судово-криміналістичну експертизу. Після всіх перевірок, експертиз та висновків чиновників, ухвалено рішення, що будівлю небезпечно експлуатувати, вона повинна бути знесена та перебудована.

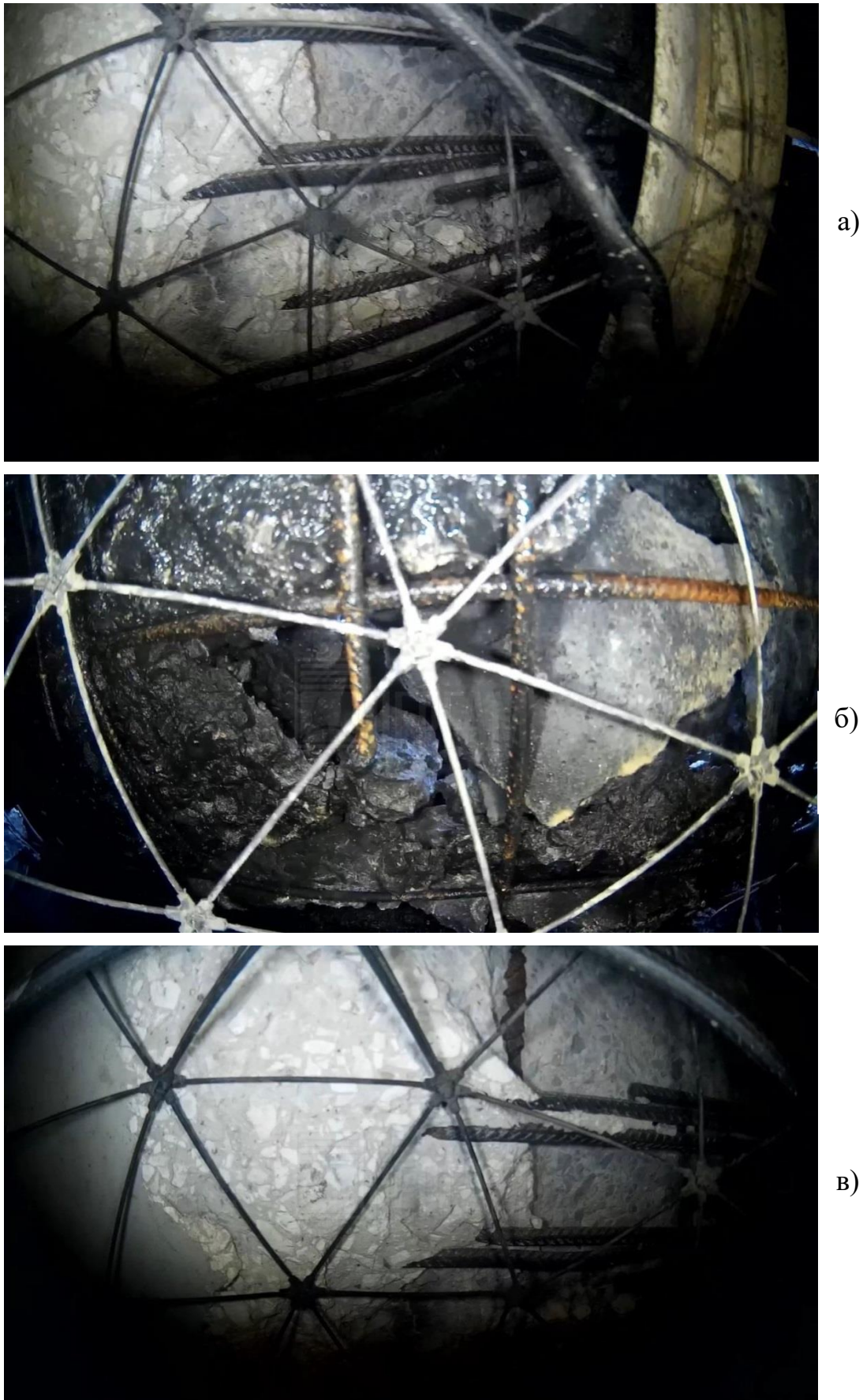


Рис. 1.5 – Результати обстеження залізобетонних конструкцій :
а) пошкодження залізобетонних конструкцій; б)-в) оголена арматура в колоні

1.5 Стан та актуальність наукової задачі в Україні

Основні роботи, які здатні виконувати БПЛА у галузі будівельної індустрії, представлено на рис. 1.6. Особливе місце займають роботи, пов'язані з безпекою будівельних робіт. Основна тенденція у вирішенні задач моніторингу будівельної індустрії – широке використання технології БПЛА для аеровізуального спостереження за технічним станом промислової інфраструктури, а також для контролю за розвитком небезпечних техногенних процесів з метою забезпечення безпеки і мінімізації ризику виникнення надзвичайних ситуацій. Особливе місце займають роботи, пов'язані з безпекою будівельних робіт, обстеження споруд з метою виявлення ділянок, потенційно аварійно небезпечних[4]. Визначення технічного стану будівель виконується візуальним і візуально-інструментальним методами із залученням спеціально підготовлених робітників. Таке обстеження є трудомістким, а в окремих випадках – навіть небезпечним, процесом. Двома найбільш складними процесами, здійснення яких може здійснюватись БПЛА, є обстеження димових труб і висотних споруд і дослідження руйнування будівель. Для обстеження димових труб залучаються альпіністи. Однак їхні можливості обмежені: не завжди можна закріпитись на певній ділянці труби, неможливе обстеження ділянок за межами прямої видимості, ефективне користування громіздкими вимірювальними приладами, фото- і відеоапаратурою, ремонтним знаряддям тощо. Робота БПЛА позбавлена цих недоліків. Він не потребує фіксації у просторі, здатний вести обстеження, віддаляючись/наближуючись до об'єкту, рухаючись будь-якими траєкторіями ,та навіть «заглядати» всередину . Залежно від вантажопідйомності він здатний нести апаратуру, незручну для звичайного перенесення і не обмежену габаритами, а в деяких випадках, за умови залучення спеціального програмного забезпечення, - виконувати і нескладні ремонтні роботи. Отримані дані транслюються у режимі реального часу, а також записуються на карту пам'яті. Оператор вручну змінює траєкторію руху БПЛА, повертаючи його до потрібної точки за необхідності повторити зйомку об'єкту чи здійснення додаткових операцій. За одну годину апарат здатен облетіти більш ніж 70 км маршрутів обстеження.

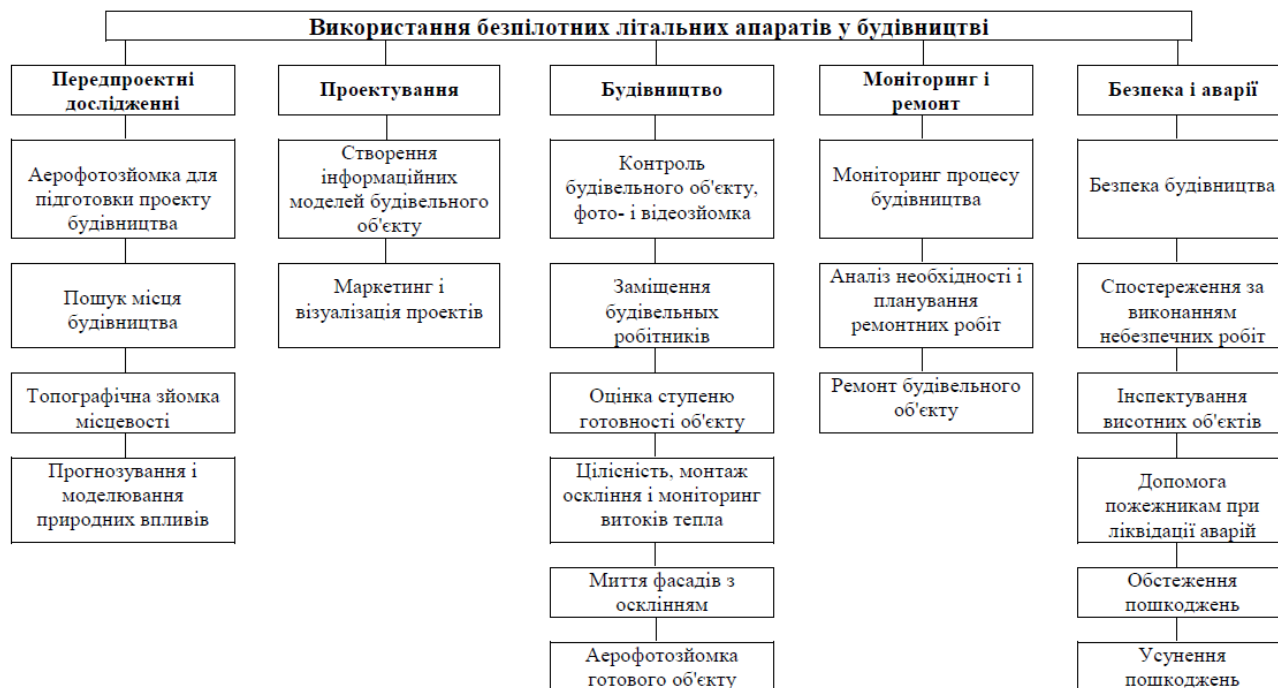


Рис. 1.6 – Можливості використання БПЛА у будівництві

Об'єкти обстеження знаходяться у практично необмеженому просторі, що надає можливість вільного маневрування БПЛА і спрощує програму виконання його завдань. У випадку руйнування будівель здійснення аварійно-рятувальних та відновлювальних робіт здатне ускладнитись внаслідок порушення рівноваги обвалених конструкцій, захарщення підходів до об'єкту уламками та будівельним сміттям, недостатніми габаритами шляхів руху та отворів тощо.

Висновок до розділу 1

1. Вивчено стан питання щодо актуальності використання БПЛА в проведенні сучасних технічних обстежень будинків та споруд
2. Проаналізовано роботи попередників
3. Виходячи з теми та мети роботи та після ознайомлення з доступною теоретичною базою сформульовано задачі для власних досліджень.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Програма досліджень

Візуальне обстеження є одним з основних методів технічного обстеження будівель та споруд. Метою обстеження будівлі чи споруди є визначення фактичного технічного стану об'єкта в цілому та його елементів, отримання кількісної оцінки фактичних показників якості конструкцій для встановлення складу та обсягу робіт з капітального ремонту чи реконструкції. Відповідно до ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану» [5] обстеження технічного стану проводиться у три етапи:

1. Підготовка до проведення обстеження.
2. Попереднє (візуальне) обстеження.
3. Детальне (інструментальне) обстеження.

Візуальне обстеження виконується з метою попередньої оцінки технічного стану елементів будівлі за зовнішніми ознаками для визначення необхідності проведення детального (інструментального) обстеження та уточнення його програми.

Обстеження великих або важкодоступних споруд потребує спеціалізованого обладнання та висококваліфікованого персоналу. У більшості випадків такі роботи виконуються без зазначеного обладнання, що не забезпечує якість результатів та можливості їх застосування. Спеціально підготовлений персонал, наприклад, альпіністи, можуть отримати доступ до важкодоступних конструкцій, але не можуть виконати оцінку об'єкта з урахуванням характеру та обсягу пошкоджень. Тому вони можуть одержати лише фотографії об'єкта або відеоматеріал відповідної конструкції для подальшого дослідження. В даний час все частіше трапляються роботи з низькою якістю. Причиною цього, є недооцінка значущості результату робіт з боку замовника та виконавця, а також низька

кваліфікація виконавців та обмеженість доступу до конструкцій об'єкта. Обмежений доступ до конструкцій будівлі або споруди, виключає можливість візуального обстеження та достовірність результатів обстеження по всьому об'єкту.

Для висотних будівель, великопролітних споруд з прольотами понад 36 м, проведення моніторингу обов'язкове на всіх стадіях будівництва та експлуатації. Теоретично цю проблему можна вирішити, використовуючи спеціалізоване обладнання, машини (риштування, автовишка, альпінізм). При цьому, зведення риштування з кожного боку висотної будівлі, використання автовишки або залучення альпіністів призведе до високих матеріальних витрат. Крім того, виникають ризики, пов'язані із забезпеченням техніки безпеки, під час проведення технічного обстеження за допомогою риштування чи автовишки. В даний час цю проблему можна вирішити за рахунок застосування безпілотних літальних апаратів, які дозволяють підвищити якість візуального обстеження та скоротити витрати на його проведення. Безпілотні літальні апарати можуть ефективно застосовуватися для обстеження важкодоступних будівель підвищеної поверховості [6].

Існує методика геодезичного моніторингу технічного стану висотних та унікальних будівель та споруд, згідно з якою визначають такі види порушень:

- відхилення від вертикалі будівлі та окремих будівельних конструкцій (осей колон, стін ліфтових шахт та інших елементів);
- стиснення або усадки колон та бетонних конструкцій;
- розкриття тріщин (при їх появі), динаміку їх розвитку;
- осідання фундаменту;
- горизонтальне усунення (зсув) будівельних конструкцій.

Дана методика не передбачає застосування безпілотних літальних апаратів для моніторингу висотних та унікальних будівель та споруд. Безпілотні літальні апарати можуть мати різний ступінь автономності - від керованих дистанційно до повністю автоматичних, а також розрізнятися за конструкцією, призначенням та багатьма іншими параметрами, які ми розглянемо в наступній частині. Основний

принцип візуального обстеження з використанням безпілотного літального апарату зводиться до отримання аерофотознімків з близької дистанції у високій роздільній здатності та під різним кутом. Аерофотозйомка також активно використовується в інженерно-геодезичних дослідженнях. На етапі інженерно-геодезичних вишукувань дуже багато залежить від отримання актуальних даних про місцевість, а точніше створення топографічних та ортофотопланів високої точності. Безпілотні апарати дозволяють підвищити оперативність створення топографічних планів на день зйомки. Точність зйомки з безпілотного літального апарату залежить від дотримання технології та виконання польотного завдання. Обстеження будівлі із застосуванням безпілотного літального апарату проводиться в три етапи:

1. Передполітна підготовка.
2. Обстеження об'єкта.
3. Обробка даних.

Передполітна підготовка включає вивчення документації на об'єкт обстеження, підбір безпілотного літального апарату, складання маршруту польоту. Складання маршруту полягає у формуванні польотного завдання у спеціалізованому програмному забезпеченні, наприклад, Pix4D (рис.2.1). У цій програмі задається траєкторія польоту, його висота та швидкість



Рис. 2.1 – Приклад польотного завдання у програмному комплексі Pix4D

Обстеження об'єкта включає в себе визначення точки старту, політ в тестовому режимі (контрольна перевірка обладнання), аерофотозйомка об'єкта. Політ супроводжується записом відео у форматі 4К. Безпілотний літальний апарат обладнаний функціями, що спрощують політ. Наприклад, функція «повернутись додому» може гарантувати безпілотному літальному апарату безпечне повернення на місце посадки[12]. Також безпілотному літальному апарату є датчик контролю висоти (альтиметр), який дозволяє утримувати його в заданій точці, для отримання більш якісних матеріалів. Після виконання польотного завдання, виконується аналіз та обробка отриманих результатів аерофотозйомки, переведення їх у потрібний формат та підготовка звітних матеріалів. Матеріали, отримані в результаті аерофотозйомки, також можна використовувати як додаток до технічного висновку.

Моніторинг технічного стану будівель та споруд проводять для:

- контролю технічного стану будівель та споруд для своєчасного застосування заходів щодо усунення виникаючих негативних факторів, що ведуть до погіршення технічного стану;
- виявлення об'єктів, на яких відбулися зміни напружено деформованого стану несучих конструкцій та для яких необхідне обстеження їх технічного стану;
- забезпечення безпечного функціонування будівель та споруд за рахунок своєчасного виявлення на ранній стадії негативної зміни напружено деформованого стану конструкцій та ґрунтів основ, які можуть спричинити перехід об'єктів до обмежено працездатного або аварійного стану;
- відстеження ступеня та швидкості зміни технічного стану об'єкта для застосування в разі потреби екстрених заходів щодо запобігання його обвалу.

Сучасними нормами передбачається, що технічне обстеження будівель та споруд проводиться не рідше одного разу на десять років і не рідше одного разу на п'ять років для будівель та споруд, що працюють у несприятливих умовах (агресивні середовища, вібрації, підвищена вологість, сейсмічність району 7 балів і вище та ін.). Для унікальних будівель та споруд встановлюється постійний режим моніторингу. За потреби зафіксувати джерела теплових втрат безпілотний

літальний апарат обладнується тепловізійним обладнанням (рис.2.2). Тепловізійна зйомка успішно застосовується для моніторингу підземних та надземних теплових комунікацій. Вона допомагає підвищити ефективність роботи тепломереж, скоротити теплові втрати, також скоротити час виявлення витоків теплоносія. За допомогою безпілотних літальних апаратів можна оцінити якість теплової ізоляції фасаду, даху будівлі.



Рис. 2.2 – Тепловізійна зйомка за допомогою БПЛА

Світовим лідером із виробництва безпілотних літальних апаратів є китайська компанія DJI. У нашій країні ринок використання безпілотних літальних апаратів перебуває у стадії становлення. Існує низка факторів, що обмежують розвиток перспективної технології, які необхідно вирішити:

1. Відсутність нормативно-правової бази, що регулює діяльність застосування безпілотних літальних апаратів (на сьогодні у існуючих нормах з технічного обстеження не зазначено можливості проведення візуального обстеження з використанням літальних апаратів).

2. Відсутність систем попередження зіткнень, що дозволяють інтегрувати безпілотні літальні апарати в єдиний повітряний простір та спільне їх використання з авіацією, що пілотується, загального призначення.

3. Відсутні норми та порядок сертифікації і стандартизації безпілотних літальних апаратів.

2.2 Загальна характеристика об'єкту обстеження.

Загальна характеристика місцевості



Таблиця 2.1 – Характеристика місцевості

1.	Сніговий район Снігове навантаження становить	4 142,7 кг/м ²
2.	Вітровий район Вітрове навантаження	4 56 кг/м ²
3.	Сейсмічність майданчику	6 балів
4.	Товщина стінки при ожеледиці	19 мм
5.	Середньорічна температура території	+7.0 C
6.	Відхилення середньодобової температури від середньомісячної	13,4 °C
7.	Ожеледно-вітровий район	3
8.	Ожеледний район	3
9.	Тип місцевості	IV

Сніговий район та навантаження відповідно до ДБН В.1.2-2:2006. [14]

Вітровий район та навантаження відповідно до ДБН В.1.2-2:2006. [15]

Сейсмічність майданчику відповідно до ДБН В.1.1-12:2014. [16]

2.2.1 Характеристика об'єкту обстеження

Димова труба призначена для відведення димових газів до верхніх шарів атмосфери від котлів, побудована в 80-х роках минулого століття. Згідно проектної документації труба запроектована для спалювання в котлах природного газу. Димові гази від водогрійних котлів подаються до стовбура димаря через підземний газохід.



Рис. 2.3 – Загальний вигляд цегляної димової труби

2.2.2 Конструктивні рішення

Фундамент. Опорою для димової труби виступає монолітний залізобетонний фундамент діаметром 4,56 м. Верхній обріз фундаменту знаходиться на відм. +0,750 мм над рівнем вимощення навколо опори.

Стовбур цегляної димової труби являє собою похилий урізаний конус з зовнішніми нижнім $\varnothing=4300$ мм і верхнім $\varnothing=1550$ мм діаметрами, виконаний з керамічної цегли марки М100 на розчині М50. Внутрішній діаметр на відмітці +29,750 м складає $\varnothing=0,95$ м. Ухил твірної становить $2^{\circ}79''$ від вертикалі. Стовбур труби по висоті розбитий на два пояси – $H=3,15$ м та $H=26,6$ м (див. додаток Б). Перехід від одного поясу до іншого здійснюється шляхом зменшення товщини кладки з утворенням уступу, товщина якого складає 260 мм з внутрішнього боку. Загальна висота труби складає 29,75 м.

Стяжні кільця. Встановлення стяжних сталевих кілець передбачено по всій висоті стовбура цегляної труби з метою запобігання утворення тріщин від температурних впливів. Стяжні кільця (20 шт.), розміщені по висоті труби із кроком 1200...1400 мм, виконані із листової сталі –100x8 мм з натяжними замками. Діаметр натяжних гвинтів складає 30 мм. Стяжні кільця складаються із 2-х та 4-х окремих частин для зручності і рівномірності їх натягу по периметру перерізів труби, що необхідно для забезпечення тріщиностійкості вертикальних перерізів.

Ходові скоби. Для підйому, спуску людей та обслуговування, на трубі передбачені ходові сходи. Ходові скоби стовбура труби виконані із круглої сталі $\varnothing 22$ мм і розміщені з кроком 350...400 мм по висоті. Довжина кожної сходинки складає 360 мм.

Система блискавкозахисту виконана у вигляді одного блискавкоприймача з труби круглого перерізу.

2.3 Методика обстеження конструкцій та елементів споруди

2.3.1. Характерні конструкції та елементи споруди, що підлягають обстеженню

В процесі даної роботи виконувалося обстеження всіх доступних елементів та конструкцій цегляної димової труби. При необхідності, за результатами обстеження, у разі виявлення дефектних конструкцій та елементів ступінь пошкодження яких важко визначити, встановлюються обсяги інструментального обстеження.

При обстеженні димової труби оглядалися нижче приведені конструкції та елементи споруди відповідно до технічного завдання наданого Замовником:

- фундамент димової труби;
- стовбур димової труби;
- стяжні кільця, ходові скоби, система блискавкозахисту

2.3.2 Загальна класифікація технічного стану конструкцій та будівель в цілому

Шляхом спільного аналізу дефектів та пошкоджень визначається технічний стан окремих конструкцій. За несучою здатністю та експлуатаційними властивостями конструкції відносяться до одного із таких станів:

- стан конструкцій I - нормальний. Фактичні зусилля в елементах та перерізах на перевищують допустимих за розрахунками. Відсутні дефекти та пошкодження, що перешкоджають нормальній експлуатації або знижують несучу здатність або довговічність;

- стан конструкцій II - задовільний. За несучою здатністю та умовами експлуатації відповідають стану I . Мають місце дефекти та пошкодження, які можуть знизити довговічність конструкції. Необхідні заходи щодо захисту конструкції;

- стан конструкцій III - непридатний для експлуатації. Конструкція перевантажена або мають місце дефекти та пошкодження, які свідчать про

зниження її несучої здатності. Але на основі перевірних розрахунків та аналізу пошкоджень можливо забезпечити її цілісність на час підсилення;

- стан конструкцій IV - аварійний. Те саме, що і за станом III. Але на основі перевірних розрахунків та аналізу дефектів і пошкоджень неможливо гарантувати цілісність конструкцій на період підсилення, особливо, якщо можливий "крихкий" характер руйнування. Необхідно вивести людей із зони можливого обвалення, виконати негайне розвантаження, вжити інших заходів безпеки.

Будівлі (споруди) в цілому відносяться до одного із наступних станів в залежності від стану несучих та огорожуючих конструкцій:

- стан будівлі (конструкції) I - нормальний. У будівлі (споруді) відсутні несучі та огорожуючі конструкції, які відповідають стану конструкцій II (задовільний), III (непридатний для нормальної експлуатації) та IV (аварійний);





- стан будівлі (конструкції) II - задовільний. У будівлі (споруді) відсутні несучі та огорожуючі конструкції, які відповідають стану конструкцій III (непридатний для нормальної експлуатації) та IV (аварійний);

- стан будівлі (конструкції) III - непридатний для нормальної експлуатації. У будівлі (споруді) відсутні несучі та огорожуючі конструкції, які відповідають стану конструкцій IV (аварійний);

- стан будівлі (конструкції) IV - аварійний. У будівлі (споруді) є несучі та огорожуючі конструкції, які відповідають стану конструкцій IV (аварійний).

2.4 Прилади та вимірювальні інструменти

Таблиця 2.2 – Прилади та вимірювальні інструменти, що використовувались під час обстеження

<u>№</u>	<u>Назва інструменту чи обладнання</u>	<u>Марка, тип (номер ДСТУ)</u>	<u>Діапазон роботи</u>	<u>Похибка</u>	<u>Фото приладу</u>	<u>Примітки</u>
1	2	3	4	5	6	7
1.	Далекомір лазерний	Leica Disto D2	0 – 60 м	± 1.5 мм на 1м		Свідоцтво про калібрування анн я UA/23/19 07 11/00128 1
2.	Безпілотний літальний апарат	DJI Mini 2	---	---		---
3.	Рулетка з ціною поділки шкали 1,0 мм	P50 УЗК ДСТУ 4179 2003	0-50 м	±2%		Свідоцтво про калібрування анн я UA/23/19 07 10/0012 74
4.	Штангенциркуль з ціною поділки шкали 0,1 мм	(№SL20101111 116) ДСТУ 166-2009	0-120 мм	±1%		Свідоцтво про калібрування анн я UA/23/190 7 15/0013 17

2.5 Порівняльні характеристики БПЛА

У Таблиці 2.3 зібрано ключові характеристики компактних міні дронів DJI таких як Tello, DJI Spark, DJI Mini 2, DJI Mavic Air.

Таблиця 2.3 – Порівняльні характеристики дронів DJI

Назва	<u>RyzeTech Tello</u>	<u>DJI Spark</u>	<u>DJI Mini 2</u>	<u>DJI Mavic Air</u>
Примітка	Не потрібна реєстрація в Україні	Модель застаріла та не випускається	Єдиний має 4-кратний цифровий зум	Модель застаріла та не випускається
Модель	Модель: Ryze Tech Tello	Модель: Spark	Модель: B39E7B	Модель: U11X
Вага	80 грам	300 грам	249 грам	430 грам
Конструкція що складається	Ні	Ні	Так	Так
Розміри по діагоналі	120 мм	170 мм	213 мм	213 мм
Можливість польоту на вулиці	Так (в штиль)	Так	Так	Так
Наявність GPS	Ні	GPS+ГЛОНАС С	GPS+ГЛОНАС С	GPS+ГЛОНАС С
Політ в вітер	Ні	Так	Так (до 10.5 м/с)	Так (до 10 м/с)
Максимальна швидкість	29 км/год	50 км/год	57,6 км/год	68,4 км/год
Максимальна дальність	100 метрів	500 метрів	10000 метрів	2000 метрів
Максимальна висота польоту	30 метрів	500 метрів	4000 метрів	500 метрів
Тип передачі сигналу	WI-FI	Посилений WI-FI	Посилений WI-FI	Посилений WI-FI

Режими польоту	<ul style="list-style-type: none"> • Зліт з долоні • Автозліт • Можливість програмування Scratch 	<ul style="list-style-type: none"> • ActiveTrack – відслідковування цілі • Управління жестами • Запуск з долоні • TapFly – політ в один дотик • Helix-відео в один дотик • Rocket-відео в один дотик • Dronie-відео в один дотик • Circle-відео в один дотик 	<ul style="list-style-type: none"> • Dronie-відео в один дотик • Rocket-відео в один дотик • Circle-відео в один дотик • Helix-відео в один дотик • Boomerang-відео в один дотик 	<ul style="list-style-type: none"> • ActiveTrack – відслідковування цілі • Сферична панорама • Управління жестами • Астероїд • Бумеранг • TapFly – політ в один дотик • APAS – обліт перешкод в режимі відслідковування цілі
Час польоту	до 13 хвилин	до 16 хвилин	до 31 хвилини	до 21 хвилини
Датчики перешкод	Ні	Спереду	Знизу та спереду	Спереду, ззаду, знизу
Режим обльоту перешкод APAS	Ні	Ні	Ні	Так
Максимальне розширення	720p	FHD: 1920×1080 30	4K: 3840×2160 24/25/30 FPS	4K: 25/30 FPS FHD 120 FPS

запису відео		FPS	2.7K: 2720×1530 30/48/50/60 FPS FHD: 1920×1080 25/30/50/60 FPS	
Фото(кількість мегапікселів)	5 Мрх	12 Мрх	12 Мрх	12 Мрх
Наявність RAW фото	Ні	Ні	Ні	Так
Матриця	-	1/2,3" CMOS	1/2,3" CMOS	1/2,3" CMOS
Стабілізація відео	Електронна	Механічна 2 - осна	Механічна 3 - осна	Механічна 3 - осна
Пульт в базовому комплекті	Ні	Ні	Так	Так
Додаток	Tello (Android , iOS)	DJI GO4 (Android , iOS)	DJI Fly (Android , iOS)	DJI GO4 (Android , iOS)
Актуальна вартість (станом на 05.05.2022)	3929грн (Новий)	7000-11000грн (доступні лише б/у варіанти)	18299грн (Новий) 23810грн (Новий, Fly More Combo)	12000-20000грн (доступні лише б/у варіанти)

2.6 Огляд обраного БПЛА

Виходячи з вищеописаних характеристик, вибір був зроблений на користь БПЛА виробника DJI, модель Mini 2, комплектація Fly More Combo. Дана комплектація включає в себе дрона, пульт керування, три запасні акумулятори та станцію зарядки (рис. 2.6). Ключовими перевагами при виборі саме цього дрона стали:

- Простота в керуванні
- Наявність датчиків наближення, що дає змогу використовувати дрон низькокваліфікованим персоналом
- Можливість зльоту в різних умовах (в приміщенні, з рук, з нерівної поверхні)
- Комплектація Fly More Combo дозволяє за один робочий виїзд провести до 93хв в повітрі
- Передача відеосигналу на відстань 10000м
- Надчітке відео в форматі 4К
- Допустима швидкість вітру до 38 км/год
- Можливість підключення пристроїв з портами Type - C, Lightning або MicroUSB

Дрон DJI Mini 2 в складеному та розкладеному вигляді (готовий до польоту вигляді) представлено на рис. 2.4 а) та 2.4 б).



а)



б)

Рис. 2.4 – Дрон DJI Mini 2 : а) в складеному вигляді; б) в розкладеному вигляді



Рис. 2.5 – Комплект Fly More Combo (БПЛА DJI Mini 2, пульт керування, три запасні акумулятори та станція зарядки)

Загальний вигляд пульта керування, Дрон DJI Mini 2 подано на рис. 2.6 а), а з підключеним до нього телефоном та запущеним додатком DJI Fly на рис. 2.6 б).



а)



б)

Рис. 2.6 – Пульт керування : а) наявні перехідники (Type - C, Lightning та MicroUSB); б) з підключеним до нього телефоном та запущеним додатком DJI Fly (б)

У готовому до запуску стані комплект оператора дрона подано на рис. 2.7.



Рис. 2.7 – Готовий до запуску комплект оператора дрона

Особливістю обраної моделі є можливість проведення зльоту з будь-якої горизонтальної поверхні, незалежно від покриття, що продемонстровано на рис 2.8

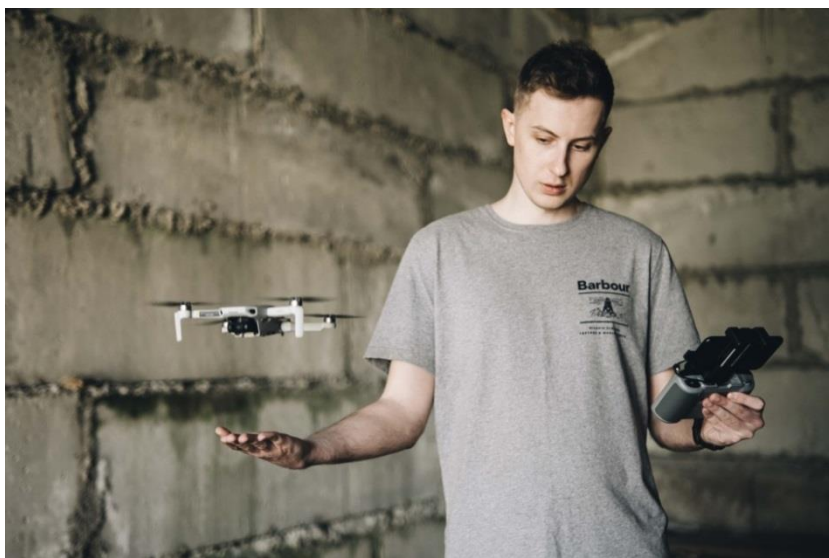


Рис. 2.8 – Демонстрація можливості зльоту з різних поверхонь

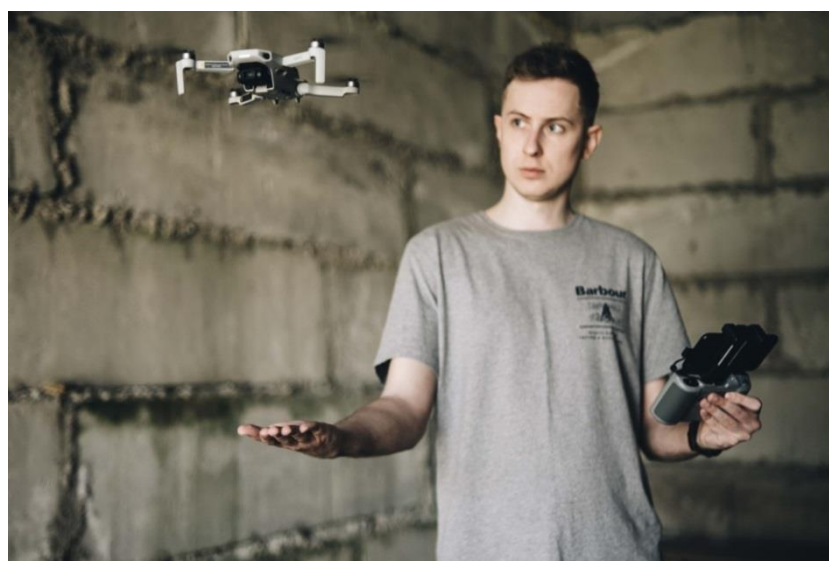
Також при потребі, дрон може бути запусканий з руки, як це продемонстровано на рис 2.9



а)



б)



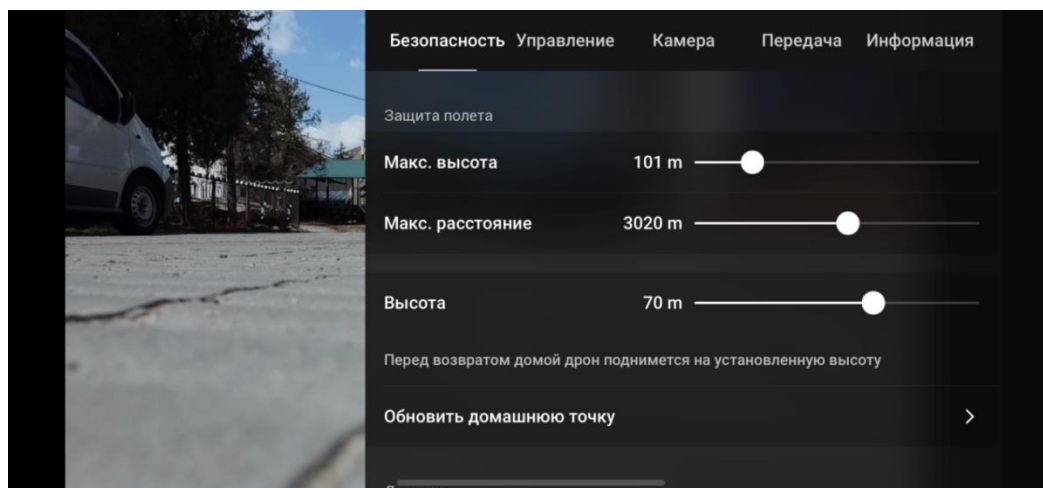
в)

Рис. 2.9 – Демонстрація зльоту дрона з руки :
а) дрон в руці; б) момент зльоту; в) дрон в повітрі;

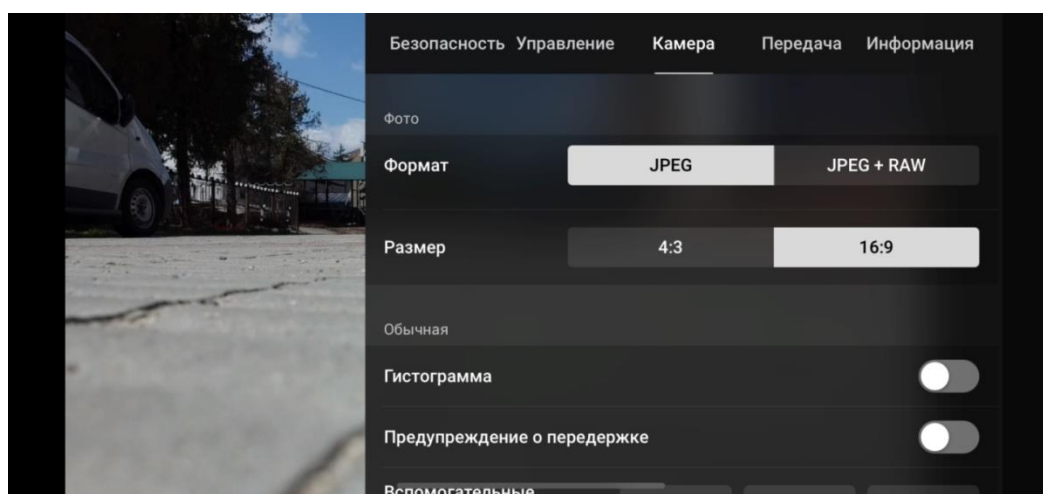
Інтерфейс додатку DJI Fly продемонстрований на Рис. 2.10. Під час зльоту дрона, та його польоту нам демонструється інтерфейс а) де відображаються основні показники дрона (висота, швидкість, точні координати, заряд батареї). В розділі безпека б) ми можемо встановити безпечну висоту та дальність польоту дрона. В розділі камера в) нам доступні налаштування якості та формату відео.



а)



б)



в)

Рис. 2.10 – Інтерфейс та розділ налаштувань додатку DJI Fly : а) основний вид з камери; б) розділ налаштувань безпеки; в) розділ налаштувань камери

Висновки до розділу 2

1. Розроблено програму досліджень
2. Удосконалено методику досліджень конструкцій та споруд, розроблено програму експериментальних досліджень
3. Проведено порівняння наявних актуальних моделей БПЛА
4. Виконано дослідження об'єкта
5. На основі даних отриманих при обстеженні, проведено розрахунки в ПК «SCAD OFFICE»
6. Правила техніки безпеки при використанні БПЛА були враховані

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Аналіз результатів обстеження та технічного стану

В ході виконання робіт з інструментального та візуального обстеження цегляної димової труби, встановлені основні параметри конструкцій та визначений їх технічний стан і надані рекомендації по подальшій експлуатації та можливості проведення ремонтних робіт.

При виконанні робіт по обстеженню проводилося:

- натурний огляд конструкцій;
- виявлення і фіксування дефектів та пошкоджень;
- вибіркові вимірювання фактичних перерізів елементів конструкцій споруди;
- натурний огляд димової труби за допомогою БПЛА з фіксуванням її технічного стану.

Оцінка фізичного зносу конструкцій виконана відповідно до ДСТУ БВ.2.6-210:2016 «Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються» та ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення» [18]. Зовнішні вигляди конструкцій цегляної димової труби, вигляди окремих елементів будівельних конструкцій представлені в вигляді фотознімків.

3.1.1 Результати візуального та інструментального огляду конструкцій частин будівлі

Оцінка загального стану цегляної димової труби проводилась візуальним та інструментальним натурним обстеженням. Для визначення вертикальності був проведений геодезичний контроль димової труби, за допомогою електронного теодоліту. Загальне відхилення стовбура димової труби **не перевищує** допустиме значення (0,005) відповідно до ДБН В.2.1-10-2009, таблиця И.1

Виявлені дефекти та пошкодження

Фундаменти:

- сліди систематичних замокань поверхні фундаменту;
- поодинокі поздовжні та поперечні тріщини шириною розкриття до 1 мм;
- часткова відсутність вимощення навколо фундаменту опори;
- відсутність гідроізоляції та проростання рослинності по периметру фундаменту опори.



Рис. 3.1 – Дефекти фундаменту : а) загальне фото фундаменту; б) тріщини в основі фундаменту; в) обмостка фундаменту;

Стовбур труби:

- вертикальна тріщина шириною розкриття до 3 мм, в рівні 2-го...4-го стяжного кільця;
- вивітрювання розчину зі швів цегляного мурування в рівні оголовка з внутрішньої та зовнішньої поверхонь стовбура димової труби на глибину до 20 мм;
- похилі та вертикальні тріщини шириною розкриття до 2 мм, по площі стовбура труби.



Рис. 3.2 – Дефекти стовбура димової труби : а) тріщина в місці кріплення сходинок; б) розкриття тріщини; в) дефект цегляної кладки; г) тріщина в цеглі



Рис. 3.3 – Дефекти стовбура димової труби

Стяжні кільця:

- загальна поверхнева корозія стяжних кілець та стяжних замків димової труби



Рис. 3.4 – Дефекти стяжних кілець : а) загальне фото стяжних кілець; б) корозія замка металевого кільця; в) корозія замка металевого кільця вид збоку

Ходові скоби та система блискавкозахисту:

- загальна поверхнева корозія металоконструкцій системи блискавкозахисту та ходових скоб (зовні та зсередини труби)
- відсутність вертикальних елементів захисного огородження ходових скоб



Рис. 3.5 – Дефекти гарнітури цегляної димової труби : а) обладнання закріплене на трубі; б) внутрішня частина труби; в) вигляд труби зверху

Технічний стан фундаменту цегляної димової труби оцінюється як задовільний, категорія «II» (згідно з ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016).

Технічний стан стовбура цегляної димової труби оцінюється як задовільний, категорія «II» (згідно з ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016).

Технічний стан металевих конструкцій стяжних кілець та блискавкоприймача оцінюється як задовільний, категорія «ІІ» (згідно з ДСТУ Б В.2.6-210:2016, додаток Д, табл. Д.1).

Технічний стан сталевих конструкцій ходових скоб оцінюється як не придатний до нормальної експлуатації, категорія «ІІІ» (згідно з ДСТУ Б В.2.6-210:2016, додаток Д, табл. Д.1).

3.2 Результати перевірних розрахунків цегляної труби

3.2.1 Вихідні дані для перевірного розрахунку

Цегляна труба конструктивно вирішена як вертикальний (консольний) стрижень, змінної жорсткості по висоті, що защемлений в фундамент.

Розрахунки проводилися у відповідності до ДБН В.1.2-2:2006 “Навантаження і впливи” (при терміні експлуатації $T=30$ років), ДБН В.2.6-162:2010. “Конструкції будівель і споруд. Кам'яні та армокам'яні конструкції. Основні положення“, “Инструкция по проектированию кирпичных дымовых труб: М.-1965г“ та ДБН В.2.6-198:2014 “Сталеві конструкції. Норми проектування”. Об'єкт перебуває в зоні щільної міської забудови. У розрахунку приймаємо ІV тип місцевості, термін експлуатації - $T=30$ років.

Розрахунок виконано за допомогою програмного комплексу «SCAD Office 7.31 R5», ліцензія 63D3E3EA.

При розрахунках враховані навантаження від власної ваги труби, а також на вітрове, ожеледне і ожеледно-вітрове навантаження, з врахуванням пульсуючого вітрового напору. Конструкції труби віднесені до другого класу споруд.

Характеристичні значення навантажень і впливів (ДБН В.1.2-2:2006):

- W_0 (вітрове навантаження) — 550 Па (4 район);
- b (товщина стінки ожеледі) — 19,0 мм (3 район);
- W_b (вітрове навантаження при ожеледі) — 250 Па (3 район);
- тип місцевості — ІV;
- термін експлуатації — 30 років.

Матеріали розрахункових елементів:

- Розрахунковий опір цегляної кладки димової труби: $R = 1,5$ МПа (при марках цегли та розчину М100 та М50, відповідно).
- Розрахункові комбінації навантажень зведені до таблиці 3.1
- Розрахункову схему труби зображено на рис. 3.8

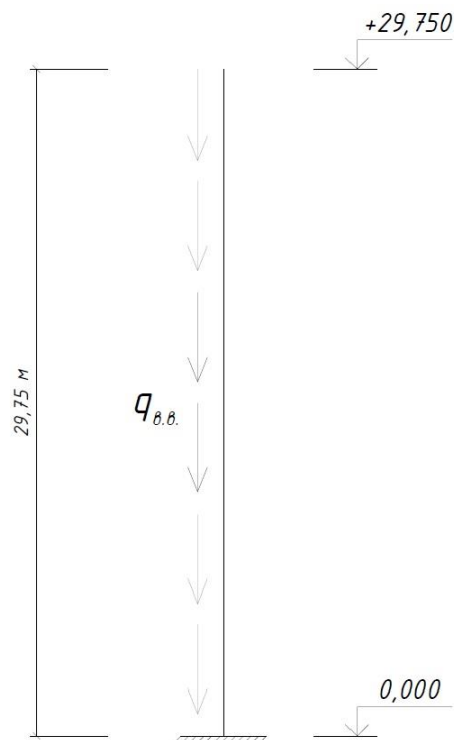
Таблиця 3.1 – Комбінації навантаження що розглядалися при розрахунку

Номер варіанту сполучен ь	Номер завантаження			
	1	2	3	4
	Власна вага стовбура цегляної димової труби	Вага гарнітури стовбура труби	Вітрове навантажен ня на стовбур труб и	Вітрове навантаження на площадку обслуговуванн я
1	2	3	4	5
1	+	+	-	-
2	+	+	+	+

Примітка: «+» - навантаження входить до сполучення; «-» - навантаження

3.2.2 Навантаження на димову трубу:

Постійне навантаження (власна вага):

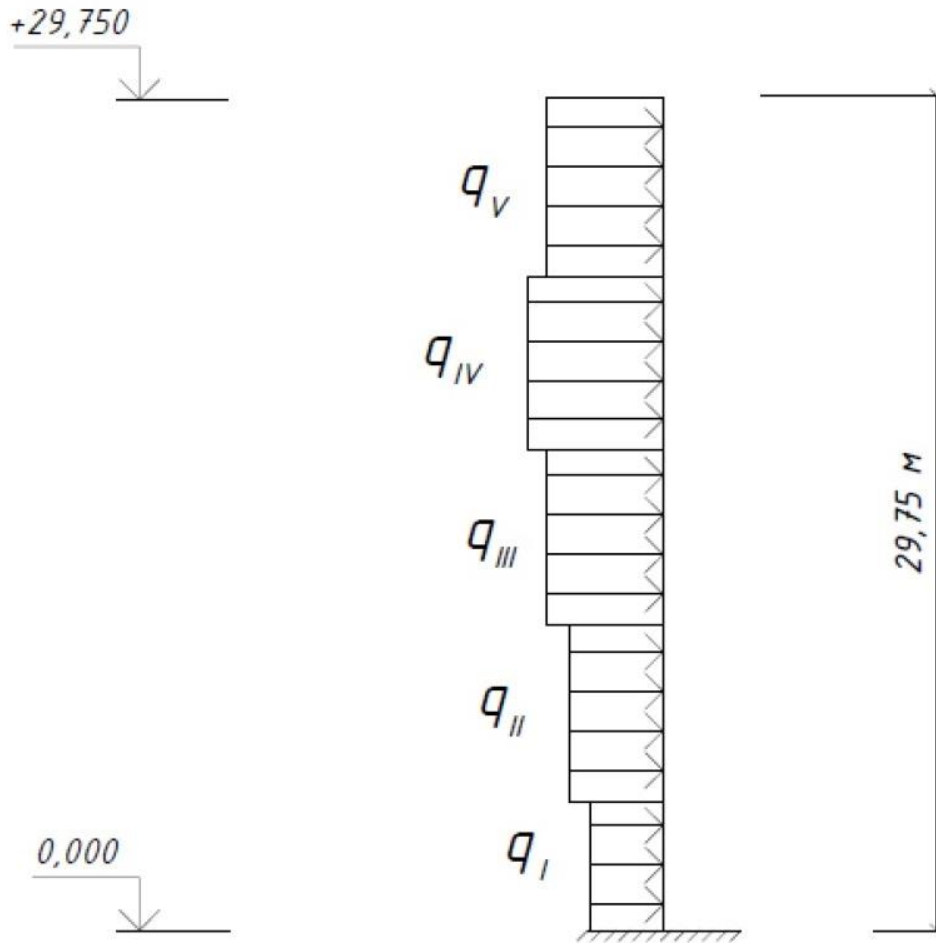


$q_{в.в.}$ – власна вага труби.

Рис. 3.6 Схема для постійного навантаження

Вітрове навантаження:

Вітрове навантаження визначалося для 4 -го вітрового району, тип місцевості IV (див. ДБН В.1.2-2:2006, рис. 9.1 та п. 9.9).



q_i - вітрове навантаження.

Рис. 3.7 Схема вітрового навантаження

$$q_{mi} = \gamma_{fm} \cdot W_0 \cdot C_i \cdot d_i \quad (3.1)$$

де

q_{mi} – граничне розрахункове значення вітрового навантаження;

γ_{fm} – коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням

вітрового навантаження;

$W_0 = 550$ Па – характеристичне значення вітрового тиску;

d_i – діаметр цегляної труби;

C_i – коефіцієнт

$$C_i = \tilde{N}_{aer} \cdot C_h \cdot C_{alt} \cdot C_{rel} \cdot C_{dir} \cdot C_d ; \quad (3.2)$$

де

C_{aer} – аеродинамічний коефіцієнт;

C_h – коефіцієнт висоти споруди ;

C_{alt} – коефіцієнт географічної висоти ;

C_{rel} – коефіцієнт рельєфу;

C_{dir} – коефіцієнт напрямку ;

C_d – коефіцієнт динамічності

Таблиця 3.2 – Значення коефіцієнта C_i

№ ділянки	Висота ділянки	C_{aer}	C_h	C_{alt}	C_{rel}	C_{dir}	C_d	C_i
1	+5,0	0,855	0,9	1,00	1,00	1,00	1,20	0,923
2	+10,0	0,855	1,2					1,231
3	+15,0	0,855	1,37					1,406
4	+20,0	0,855	1,55					1,590
5	+29,75	0,855	1,78					1,826

Таблиця 3.3 – Розрахунок коефіцієнта C_{aer}

№ ділянки	Висота ділянки	C_h	Діаметр ділянки, м	W_0 , Па	$Re \times 10^5$	$C_{x,\infty}$	K	$C_x = C_{aer}$
1	+5,0	0,9	4,07	550	75,6	0,9	0,95	0,855
2	+10,0	1,2	3,605	550	77,3	0,9	0,95	0,855
3	+15,0	1,37	3,145	550	72,1	0,9	0,95	0,855
4	+20,0	1,55	2,68	550	65,3	0,9	0,95	0,855
5	+29,75	1,78	1,995	550	52,1	0,9	0,95	0,855

Таблиця 3.4 – Розрахунок вітрового навантаження

№ ділянки	Висота ділянки h, м	Діаметр ділянки м	Вітровий тиск W_0 , кПа	Коефіцієнт		q_{ei} кН/м
				C_i	надійності γ_{fm}	
1	+5,0	4,07	0,55	0,923	0,90	1,860
2	+10,0	3,605	0,55	1,231	0,90	2,197

Продовження таблиці 3.4

3	+15,0	3,145	0,55	1,406	0,90	2,189
4	+20,0	2,68	0,55	1,590	0,90	2,109
5	+29,75	1,995	0,55	1,826	0,90	1,803

Значення для проміжних ділянок по висоті встановлюється лінійною інтерполяцією

Таблиця 3.5 – Навантаження на фундамент

Схема	Зусилля	Навантаження
	N, кН	906
	M, кН	347
	Q, кН	26

3.2.3 Розрахункові положення

Перевірний розрахунок елементів цегляної димової труби:

Зусилля та переміщення визначались за допомогою розрахункового комплексу SCAD за формулою.

$$X = X^c + \sqrt{\sum_{i=1}^r (X_i^d)^2}; \quad (3.3)$$

де

X – зусилля, або переміщення від вітрового навантаження;

X_i^d – зусилля, або переміщення від пульсаційної складової вітрового навантаження при коливаннях по I-й формі.

Таблиця 3.6 – Зусилля та переміщення труби

Номер ділянки	M_p кНм	Q_p кН	N_p кН	Переміщення по горизонталі, мм
I	347,0	26,0	906,0	1,32

Продовження таблиці 3.6

II	248,6	22	680,9	5,17
III	167,2	17,6	477,4	13,31
IV	89,1	13,2	297	24,75
V	34,1	8,8	143	35,53

Розрахунок додаткових моментів крену фундаменту

$$M_{gi} = \frac{q_f \times N_i \times H_i \times \operatorname{tg}(\theta + \alpha)}{2,75}; \quad (3.4)$$

$$\operatorname{tg}(\theta + \alpha) = 0,001;$$

Таблиця 3.7 – Розрахунок додаткових моментів крену фундаменту

Ділянки	Поздовжнє зусилля $N_p, \text{кН}$	$\operatorname{tg}(\theta + \alpha)$	γ_f	$H,$ м	M_g кНм
1	2	3	4	5	6
I	906	0,002	1,1	29,75	22
II	680,9	0,002	1,1	20	11
III	477,4	0,002	1,1	15	6
IV	297	0,002	1,1	10	2
V	143	0,002	1,1	5	1

$$N_{ni} = \frac{\varphi \cdot m_k \cdot R \cdot F}{1 + \frac{2 \cdot e_0}{d}}; \quad (3.5)$$

де

R – розрахунковий опір кладки;

F – площа поперечного перерізу;

φ - коефіцієнт поздовжнього згину;

$m_k = 0,9$ – коефіцієнт роботи цегляної кладки;

e_0 – розрахунковий ексцентриситет;

d – зовнішній діаметр перерізу.

Таблиця 3.8 – Напруження в горизонтальних перерізах

Ділянки	M_p	M_g	N_p	e_0	e_1	R	F	d	m_k	ϕ	λ	r	α	l_0	N_d	N_p	Недонапруг.
	кНм	кНм	кН	м	м	МПа	м ²	м				см		м	кН	кН	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I	347	22	906	0,407	0,430	1,5	3,892	4,07	0,9	0,94	20,8	140,1	100	29,12	4115	906	78
II	248,6	11	680,9	0,381	0,402	1,5	2,842	3,61	0,9	0,9	31,4	92,6	100	29,12	2850	680,9	76
III	167,2	6	477,4	0,363	0,372	1,3	1,873	3,15	0,9	0,77	50,7	57,4	100	29,12	1371	477,4	65
IV	89,1	2	297	0,307	0,323	1,3	1,571	2,68	0,9	0,82	81,6	35,7	100	29,12	1226	297	76
V	34,1	1	143	0,245	0,272	1,3	0,960	2	0,9	0,52	154,9	18,8	100	29,12	469	143	69

Напруження в горизонтальних перерізах труби не перевищують розрахунковий опір кладки, а максимальні розрахункові деформації менші за граничні.

Враховуючи необхідність підключення у нижній частині проектного технологічного обладнання та потреба у влаштуванні технологічного прорізу $0,7 \times 0,8h$ м, виконаємо розрахунок нижнього перерізу труби з врахування проектного прорізу:

Таблиця 3.9 – Розрахунок нижнього перерізу труби з врахуванням проектного прорізу

Ділянки	M_p	M_g	N_p	e_0	e_1	R	F	d	m_k	ϕ	λ	r	α	l_0	N_d	N_p	Недон апр.
	кНм	кНм	кН	м	м	МПа	м ²	м				см		м	кН	кН	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I	347	22	906	0,407	0,430	1,5	3,551	4,07	0,9	0,94	20,8	140,1	10,00	29,12	3755	906	76

Висновок: міцність димової труби, з врахування прорізу $0,7 \times 0,8h$ м у нижній частині при існуючих і проєктованих навантаженнях забезпеченні. Проте, для рівномірного розподілення передачі навантаження при виконанні отвору необхідно передбачити локальне підсилення стовбура металевими перемичками, шпильками і обіймами з прокатних елементів і пластин.

3.3 Розрахунок з розрахункового комплексу SCAD

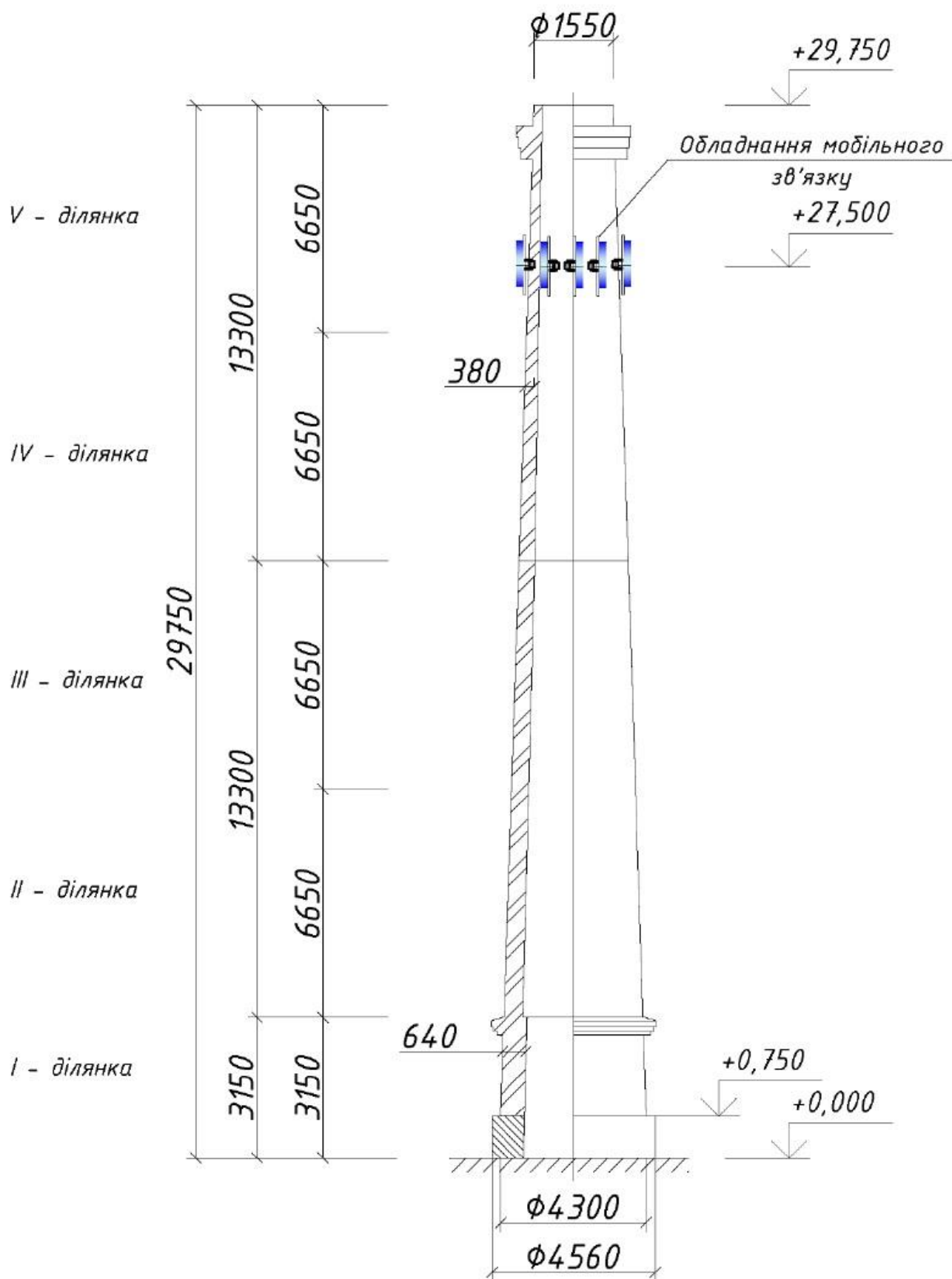


Рис. 3.8 – Розрахункова схема цегляної труби

Вихідні дані

Управління		
Тип	Назва	Дані
1	Шифр задачі	Цегляна труба Н=29,75
2	Ознака системи	5

Переміщення вузлів

Завантаження	
Номер	Назва
1	Власна вага
2	Вітер

Максимальні переміщення вузлів розрахункової схеми, мм, рад*1000						
Назва	МАХ+			МАХ-		
	Значення	Номер вузла	Номер завантаження	Значення	Номер вузла	Номер завантаження
X	0			-1,31284	7	2
Y	0			0		
Z	0			-0,312131	7	1
U _x	0			0		
U _y	0			-,0813151	7	2
U _z	0			0		

Переміщення вузлів, мм, рад*1000				
Номер вузла	Номер завантаження	Переміщення		
		X	Z	U _y
2	1	0	-,0714383	0
	2	-0,41515	0	-0,0142\4
3	1	0	-0,161351	0
	2	-0,195339	0	-0,038147
4	1	0,	-0,233413	0
	2	-0,484026	0	-0,05422
5	1	0,	-0,30814	0
	2	-0,926165	0,	-0,068969
6	1	0	-0,321452	0,
	2	-1,001616	0	-,0509
7	1	0	-0,372721	0
	2	-1,315515	0	-0,071857

Зусилля / напруження елементів

Завантаження	
Номер	Назва
1	Власна вага
2	Вітер

Максимальне зусилля елементів розрахункової схеми, кН, м								
Назва	MAX+				MAX-			
	Значення	Номер елемента	Номер січення	Номер завантаження	Значення	Номер елемента	Номер січення	Номер завантаження
N	0	6	3	2	-906,413	6	3	1
Mk	0	6	3	2	0	6	3	2
My	347,6151	6	3	2	0	6	3	1
Qz	26,4165	6	3	2	0	6	3	1
Mz	0	6	3	2	0	6	3	2
Qy	0	6	3	2	0	6	3	2

Зусилля і напруження елементів, кН, м

Номер елемента	Номер січення	Номер завантаження	Зусилля і навантаження					
			N	Mk	My	Qz	Mz	Qy
1	1	1	-0,013769	0	0	0	0	0
		2	0	0	0,000001	0,000586	0	0
2	2	1	-6,1164	0	0	0	0	0
		2	0	0	0,289525	0,28991	0	0
3	3	1	-13,1651	0	0,	0	0	0
		2	0	0	1,1586	0,5126	0	0
2	1	1	-15,8157	0	0,	0	0	0
		2	0	0	1,1598	0,783185	0	0
2	2	1	-19,2558	0	0,	0	0	0
		2	0	0	2,01346	,927743	0	0
3	3	1	-22,6989	0	0,	0	0	0
		2	0	0	3,01384	1,07237	0	0
3	1	1	-22,7189	0	0	0	0	0
		2	0	0	3,01346	1,07331	0	0
2	2	1	-34,6715	0	0	0	0	0
		2	0	0	6,93221	1,54073	0	0
3	3	1	-46,6256	0	0	0	0	0
		2	0	0	12,2548	2,00815	0	0
4	1	1	-46,6645	0	0	0	0	0

		2	0	0	112,2545	2,009	0	0
	2	1	-66,4678	0	0	0	0	0
		2	0	0	118,9196	2,43365	0	0
	3	1	-86,2698	0	0	0	0	0
		2	0	0	126,8573	2,8583	0	0
5	1	1	-186,326	0	0	0	0	0
		2	0	0	126,85446	2,85904	0	0
	2	1	-408,625	0	0	0	0	0
		2	0	0	135,9796	3,22564	0	0
	3	1	-630,945	0	0	0	0	0
		2	0	0	146,2097	3,59225	0	0
6	1	1	-730,985	0	0	0	0	0
		2	0	0	146,2049	22,5963	0	0
	2	1	-824,996	0	0	0	0	0
		2	0	0	253,582	23,7408	0	0
	3	1	--906,413	0	0	0	0	0

Переміщення при комбінації завантажень

Комбінації	
Номер	Назва
1	1*(1) + 1*(2)

Максимальне перміщення вузлів розрахункової схеми від комбінації, мм, рад*1000

Назва	MAX+			MAX-		
	Значення	Номер вузла	Номер комбінації	Значення	Номер вузла	Номер комбінації
X	0,			-1,31355	7	1
Y	0,			0,		
Z	0,			-0,332425	7	1
U _x	0,			0,		
U _y	0,			-0,071781	7	1
U _z	0,			0,		

Переміщення при комбінації завантажень, мм, рад*1000

Номер вузла	Номер комбінації	Переміщення		
		X	Z	U_y
2	1	-0,03067	-0,069266	-0,014646
3	1	-0,195339	-0,174358	-0,038147
4	1	-0,484026	-0,246763	-0,055832
5	1	-0,866903	-0,30933	-0,068969
6	1	-1,00706	-0,322751	-0,0709
7	1	-1,29286	-0,332351	-,071632

Зусилля / напруження елементів при комбінації завантажень

Комбінації	
Номер	Назва
1	1*(1) + 1*(2)

Максимальне зусилля елементів розрахункової схеми, кН,м								
Назва	MAX+				MAX-			
	Значення	Номер ел-та	Номер січення	Номер комб.	Значення	Номер ел-та	Номер січення	Номер комб.
N	0				-906,413	6	3	1
Mk	0	6	3	1	0	6	3	1
My	71,42682	6	3	1	0			
Qz	4,97112	6	3	1	0			
Mz	0	6	3	1	0	6	3	1
Qy	0	6	3	1	0	6	3	1

Зусилля і напруження елементів при комбінації навантажень, кН, м								
Номер ел-та	Номер січення	Номер комб.	Зусилля і напруження					
			N	Mk	My	Qz	Mz	Qy
1	1	1	-0,01376	0	0,000001	0,000586	0	0
	2	1	-6,1164	0	0,289525	0,28991	0	0
	3	1	-13,1651	0	1,1586	0,5126	0	0
2	1	1	-15,8157	0	1,1598	0,783185	0	0
	2	1	-19,2558	0	2,01346	,927743	0	0
	3	1	-22,6989	0	3,01384	1,07237	0	0
3	1	1	-22,7189	0	3,01346	1,07331	0	0
	2	1	-34,6715	0	6,93221	1,54073	0	0
	3	1	-46,6256	0	12,2548	2,00815	0	0
4	1	1	-46,6645	0	112,2545	2,009	0	0
	2	1	-66,4678	0	118,9196	2,43365	0	0
	3	1	-86,2698	0	126,8573	2,8583	0	0
5	1	1	-186,326	0	126,85446	2,85904	0	0
	2	1	-408,625	0	135,9796	3,22564	0	0
	3	1	-630,945	0	146,2097	3,59225	0	0
6	1	1	-730,985	0	146,2049	22,5963	0	0
	2	1	-824,996	0	253,582	23,7408	0	0
	3	1	-906,413	0	347,6151	26,4165	0	0

Висновок до розділу 3

При обстеженні технічного стану конструкцій цегляної димової труби не виявлені дефекти та пошкодження (значні тріщини, вибоїни, вивітрювання розчину зі швів цегляного мурування), які не допускають нормальної експлуатації димової труби. При обстеженні металоконструкцій гарнітури димової труби не виявлені дефекти та пошкодження (понаднормові погнутості, викривлення та деформації), які можуть призвести до зниження несучої здатності елементів.

Технічний стан основних конструктивних елементів цегляної димової труби:

- стовбур цегляної димової труби – **задовільний, «категорія II»** (згідно з ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016);
- фундамент – **задовільний, «категорія II»** (згідно з ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016);
- стяжні кільця – **задовільний, «категорія II»** (згідно з ДСТУ Б В.2.6-210:2016);
- ходові скоби – **не придатний до нормальної експлуатації, категорія «III»** (згідно з ДСТУ Б В.2.6-210:2016);
- система блискавкозахисту – **задовільний, «категорія II»** (згідно з ДСТУ Б В.2.6-210:2016).

Загалом, технічний стан конструкцій стовбура цегляної димової труби оцінюється, **як задовільний, «категорія II»**.

Перевірний розрахунок існуючої димової труби без влаштування отвору (термін експлуатації $T=30$ років за ДБН В.2.6-2:2010) показав, що напруження в горизонтальних перерізах труби не перевищують розрахунковий опір кладки, а максимальні розрахункові деформації менші за граничні

Перевірний розрахунок існуючої димової труби з влаштування отвору для входу газоходу перерізом $0,7 \times 0,8(h)$ м в нижній частині труби (орієнтовна відмітка врізу газоходу $+3,000$ м від рівня опорного вузла труби) (термін експлуатації $T=30$ років за ДБН В.2.6-2:2010) показав, що міцність димової труби,

з врахування прорізу $0,7 \times 0,8$ м у нижній частині при існуючих і проєктованих навантаженнях забезпеченні

Загальне відхилення стовбура димової труби від вертикалі **не перевищує** допустиме значення (0,005Н) відповідно до ДБН В.2.1-10-2009, таблиця И.1

Для відновлення нормального (категорія «І») технічного стану, безпечної та надійної експлуатації димової труби з влаштування отвору для входу газоходу перерізом $0,7 \times 0,8$ (h) м в нижній частині труби (орієнтовна відмітка врізу газоходу +3,000 м від рівня опорного вузла труби) та для усунення можливості погіршення технічного стану, необхідно:

- для рівномірного розподілення передачі навантаження і при виконанні отвору для входу газоходу перерізом $0,7 \times 0,8$ (h) м, необхідно передбачити локальне підсилення стовбура металевими перемичками, шпильками і обіймами з прокатних елементів і пластин;
- існуючу тріщину в рівні 2-го...4-го стяжного кільця заін'єктувати високоадгезійним розчином для ін'єктування. Встановити додаткове стяжне кільце між 2-м та 3-м існуючим стяжним кільцем (над карнизом);
- відновити відсутні вертикальні елементи захисного (леєрного огороження). Нові вертикальні елементи прийняти з полоси 40×5 та приварити до існуючих скоб захисного огороження;
- ззовні труби очистити шви цегляного мурування в місцях вивітрювання розчину. Після очищення, шви заповнити новим цементно-піщаним розчином М50, розшити і загладити;
- всередині труби очистити шви цегляного мурування в місцях вивітрювання розчину. Після очищення, шви заповнити розчином глиноземистого цементу на основі шамоту (або аналогічного розчину по фізико-механічним характеристикам, що витримує вплив кислотного середовища та температури більше 250°), марки М50, розшити і загладити;
- виконати ремонт антикорозійного захисту елементів металоконструкцій цегляної труби (стяжні кільця, технологічна площадка, ходові скоби). Поверхню зачистити металевими щітками, обробити перетворювачем іржі,

після чого провести антикорозійний захист у відповідності до ДСТУ Б В.2.6-193:2013

- фундаменти очистити від рослинності та бруду та пилу. Влаштувати нове гідроізоляційне покриття фундаментів із бітумної мастики в 2 шари;
- відновити вимощення навколо фундаменту опори. Нове вимощення виконати асфальтованим чи бетонним, товщиною 100 мм та шириною 1000 мм.

Виконання капітального ремонту існуючої димової труби слід здійснювати на підставі спеціально розроблених проектних рішень, у відповідності до чинних нормативів, спеціалізованою організацією, що має відповідну дозвільну документацію чи сертифікованих спеціалістів. В процесі експлуатації необхідно стежити за станом цегляного мурування стовбура труби (наявність деформацій; розвиток тріщин, відколів та вивітрювання розчину зі швів цегляного мурування), а також експлуатацію труби проводити згідно технологічних вимог з експлуатації

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

В основі всіх нормативно-правових актів про охорону праці в Україні лежить Конституція України.

Згідно з Законом України “ Про охорону праці ” (далі – Законом) (ст.4) визначені основні напрямки реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров’я в процесі трудової діяльності:

- пріоритет життя і здоров’я працівників по відношенню до результатів виробничої діяльності підприємства;
- повна відповідальність роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці;
- соціальний захист працівників, повне відшкодування збитків особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві і професійних захворювань та інші.

Іншим важливим законом в галузі охорони праці є Кодекс законів про працю, що регулює трудові відносини між працівником і роботодавцем. Відповідно до даного Кодексу права працівників на охорону праці під час трудової діяльності охороняються всебічно.

На сьогодні в Україні існує велика кількість нормативно-правових актів з охорони праці. До них відносяться, згідно зі ст. 27 Закону: правила, норми, положення, стандарти, регламенти, інструкції та інші документи, обов’язкові до виконання. Зазначимо, що вищесказані нормативно-правові акти повинні регулярно переглядатися – не рідше одного разу на десять років.

До нормативно-правових актів, що діють, наприклад, в будівництві, включають:

- нормативно-правові акти, що поширюються на декілька видів економічної діяльності;

- нормативно-правові акти, що поширюються на будівництво;
- нормативно-правові акти, що поширюються на вироблення електроенергії, газу, тепла;
- охорона надр.

Крім вище наведених нормативно-правових актів охорона праці в будівництві регламентована державними будівельними нормами – ДБН, основними з яких є:

- ДБН А.3.1-5-2009. Організація будівельного виробництва;
- ДБН А.3.2-2-2009. ССБТ. Охорона праці та промислова безпека у будівництві. Основні положення;
- ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки.

Згідно із ст.13 Закону роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці, а також зобов'язаний створити на робочому місці умови праці відповідно до вимог нормативно-правових актів. Роботодавець несе безпосередню відповідальність за порушення цих вимог. У свою чергу працівник зобов'язаний знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей, проходити у встановленому законодавством порядку попередні та періодичні медичні огляди (ст.14). Працівник несе особисту відповідальність за порушення зазначених вимог.

Достойна праця – безпечна праця. Міжнародний досвід засвідчує, що вдосконалення законів в охороні праці та методів забезпечення безпеки праці, боротьба з травматизмом, крім гуманістичного характеру, має ще й чітко виражений економічний аспект. Безпека праці виступає одним із важливих факторів, які забезпечують високу продуктивність праці та безпосередньо впливає на підвищення ефективності виробництва.

4.2 Правила з техніки безпеки при роботі з БПЛА

БПЛА – через велику кількість рухомих елементів є обладнанням підвищеної небезпеки. Щоб не наражатися на небезпеку та мінімізувати можливість отримання травм, слід суворо дотримуватись таких основних правил техніки безпеки:

- Перед запуском, перевірити справність всіх елементів БПЛА
- Впевнитись що гвинти правильно закріплені
- Заряд акумулятора БПЛА та пульта керування повинен бути не менше ніж 50%
- При виконанні зльоту БПЛА переконатись що поблизу немає перешкод, а також дерев та електричних дротів
- Камера БПЛА має бути направлена в протилежну сторону від оператора
- Утриматися від польотів під час поганої погоди(дощ, сильний вітер), а також при сильних морозах
- Не літати в нетверезому стані
- Не передавати управління БПЛА третім особам, які не пройшли хоча б базового навчання
- Старатися утримувати БПЛА в полі зору під час польоту
- Мінімізувати використання БПЛА в закритому просторі
- Обережно літати в місті через можливість виникнення радіоперешкод
- Заборонено здійснювати зліт, політ, або посадку біля аеропортів та на території режимних об'єктів
- Не використовувати стороннє програмне забезпечення
- Не кріпити на БПЛА корисне навантаження, не передбачене виробником
- Впевнитись що включена функція «автоматичне повернення», в разі втрати зв'язку між пультом управління та БПЛА
-

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.3.1 Підвищення стійкості роботи підприємств будівельної галузі у військовий час

З переліку основних завдань цивільного захисту (ЦЗ) можна виділити збереження та підвищення стійкості роботи підприємств, об'єктів та одиниць національної економіки, а саме будівельної галузі, у період військових дій. На сьогоднішній день, коли у розпорядженні людей є зброя масового знищення, ураження промислових потужностей умовного противника виходить на провідне місце у переліку першочергових завдань. Так як виведення економіки з ладу може призвести до того, що країна не зможе продовжувати активні бойові дії задля захисту своїх кордонів та підтримувати життєдіяльність населення. Через бойові дії на території України, проблема підвищення стійкості роботи підприємств будівельної галузі актуальна як ніколи.

Продукція такої галузі економіки як будівництво створює умови та базу для усіх галузей національної економіки. Будівництво є свого роду показником та рушійною силою економіки і здатне впливати як на розвиток супутніх будівництву виробництв, так і на всі інші сторони життєдіяльності суспільства, в тому числі і соціальні. Тому досить важливо підвищувати стійкість роботи підприємств будівельної галузі.

Організаційні заходи передбачають розробку ефективних дій керівного складу, служб та формувань ЦЗ, спрямованих на захист виробничого персоналу, проведення рятувальних та інших невідкладних робіт, а також відновлення виробництва.

Будівельне підприємство – підприємство будівельної галузі, яке являє собою відокремлену та самостійну гілку економіки, що спеціалізується на виконанні будівельної продукції (будинків, промислових об'єктів, споруд) та будівельних послуг (ремонтно-будівельних робіт). Діяльність будівельних підприємств забезпечується наявністю в їх розпорядженні необхідних ресурсів:

людських, фінансових, матеріальних, енергетичних, за допомогою яких створюється продукція. Одним з основних показників виробничо-господарської діяльності будівельного підприємства є продукція будівельного підприємства - це матеріальні цінності, створені в результаті діяльності будівельного підприємства.

Під стійкістю роботи підприємств будівельної галузі розуміють їх здатність за умов дії надзвичайних ситуацій виробляти продукцію в запланованих обсягах та номенклатурі, а при одержанні слабких чи середніх руйнувань чи порушенні постачання сировини відновлювати своє виробництво в мінімально короткі терміни. Щоб забезпечити нормальну роботу під час війни промислових об'єктів будівництва, скоротити можливі матеріальні втрати, необхідно ще в мирний час виконати великий комплекс різних заходів, які забезпечили б їхнє функціонування. Ці заходи спрямовані на зниження можливих втрат і руйнувань від сучасних засобів ураження і створення умов для нормальної роботи підприємств як у воєнний, так і в мирний час.

Основними шляхами забезпечення стійкої роботи підприємства будівельної галузі у воєнному стані є:

1. Забезпечення захисту людей та їх життєдіяльності. Створення на об'єкті надійної системи оповіщення про загрозу нападу противника, радіоактивне, хімічне забруднення і біологічне зараження, загрозу стихійного лиха і виробничої аварії. Організація розвідки і спостереження за радіоактивним, хімічним забруднення і біологічним зараженням; гідрометеорологічне спостереження за рівнем води, напрямком і швидкістю вітру, рухом і поширенням хмари радіоактивного забруднення.

2. Захист цінного й унікального устаткування. Захистити цінне і унікальне устаткування можна завдяки проведенню інженерно-технічних заходів, щоб зменшити небезпеку пошкодження і руйнування цінного й унікального устаткування, станків з програмним керуванням, шліфувальних, токарних, розточних, зубофрезерних, пресових станків, автоматичних конвеєрних ліній та іншого устаткування. Варіантами такого захисту є розміщення зазначеного устаткування в заглиблених приміщеннях а також використання спеціальних

захисних пристосувань, закріплення станків на фундаментах, застосування контрфорсів для підвищення стійкості проти перекидання обладнання.

3. Підвищення стійкості мереж комунального господарства. Для забезпечення стійкості роботи об'єктів повинні проводитись інженерно-технічні заходи на мережах комунального господарства з метою захисту джерел тепла із заглибленням у ґрунт комунікацій. Котельні слід розміщувати в спеціальному окремо розміщеному приміщенні. Теплова мережа має будуватися за кільцевою системою з прокладанням труб у спеціальних каналах зі з'єднанням паралельних ділянок. Для відключення пошкоджених ділянок мають бути встановлені запірнорегулюючі засувки, вентилі та ін. Ці пристосування необхідно розміщувати в оглядових колодязях, на території, що не завалюється при руйнуванні будівель.

4. Забезпечення стійкості роботи паливно-енергетичного комплексу і водопостачання. Створення резерву енергетичних потужностей за рахунок автономних пересувних електростанцій, а також місцевих джерел електроенергії. Підготовка автономних електростанцій до роботи за спеціальним режимом (графіком) для забезпечення технологічних процесів виробництва, для яких неможливі тривалі перерви в електропостачанні. З метою попередження аварій на електричних мережах необхідно установити автоматичну систему відключення при виникненні перенапруги. Повітряні лінії електропостачання замінити на підземно-кабельні. Створення необхідних запасів (резервів) паливно-мастильних матеріалів та інших видів палива й організація їх безпечного зберігання. Щоб не допустити зупинки підприємства через дефіцит палива, необхідно підготуватись для роботи на різних видах палива: нафта, вугілля, газ.

Для підвищення стійкості забезпечення водою слід провести такі заходи. Необхідно створити основні і резервні джерела водопостачання. Як резервне джерело краще мати артезіанську свердловину, яку необхідно підключити до системи водопостачання. Крім того, воду можна брати з близько розміщеної природної водойми або спорудити штучну водойму чи резервуари з обладнанням пристроїв для збору і перекачування води. Всі ділянки водопостачання повинні бути заглиблені в ґрунт з обладнанням пожежних гідрантів і пристроїв для

відключення пошкоджених ділянок. Локальні мережі водопостачання окремих великих підприємств варто з'єднати із загальноміською системою водопостачання в єдине кільце.

5. Забезпечення стійкого постачання будівельного об'єкта. Для забезпечення виробництва продукції необхідні електроенергія, паливо, мастила, профілактичні й лікувальні препарати медицини, запасні частини, сировина та інші матеріальнотехнічні засоби. Забезпечення об'єктів цими ресурсами дасть можливість випускати необхідну продукцію в надзвичайних умовах мирного і воєнного часу. Тому повинні проводитись такі заходи, які б забезпечили стійкість постачання і сприяли підвищенню захисту мережі електро-, водо-, газопостачання, транспортних комунікацій і джерел постачання всім необхідним для забезпечення функціонування будівельної галузі в надзвичайних умовах. З метою попередження аварій на електричних мережах необхідно встановити автоматичну систему відключення перенапруги. Повітряні лінії електропостачання слід замінити на підземно-кабельні.

6. Забезпечення збереження й відновлення будівель і споруд. Оцінка можливих ступенів руйнування будівель і споруд підприємства, населеного пункту. Визначення обсягу невідкладних ремонтних робіт, потреби в будівельних матеріалах. Розрахунок сил і засобів для проведення невідкладних ремонтних та інших робіт, а також знезаражування приміщень, виробничих ділянок і території. Створення і підготовка спеціальних формувань для ремонтно-відновних, будівельних та інших робіт на об'єкті.

7. Забезпечення надійності системи управління і зв'язку. Організація захищеного пункту управління, оснащення його засобами зв'язку, які б дали можливість швидко доводити сигнали ЦЗ до всіх виробничих підрозділів і населення у місцях проживання. Розробка документів, які регламентують чіткі дії персоналу для забезпечення сталої роботи об'єкта в надзвичайних умовах. Підготовка необхідного резерву кадрів спеціалістів, будівельників і керівних працівників для зміни тим, які будуть мобілізовані

При вирішенні проблеми підвищення стійкості роботи підприємств будівельної галузі, а також інших об'єктів народного господарства, керуються єдиними принциповими положеннями:

- завчасне проведення заходів цивільного захисту, спрямованих на зниження можливих втрат та руйнувань у разі застосування зброю противника зброї масового ураження і на створення умов для швидкого відновлення виробництва після часткового руйнування;
- комплексний підхід в розробці і здійсненні заходів для всіх напрямків діяльності підприємства;
- узгодження цих заходів з територіальними і військовими органами управління.

Заходи з підвищення стійкості плануються з урахуванням місцевих умов, ступеня важливості об'єкта, його географічного положення, економічної доцільності проведення заходів. На мирний час планують, в основному, трудомісткі заходи, які потребують значних матеріальних витрат і часу, а на період загрози виникнення НС – такі заходи, які не потребують значних затрат часу чи проведення яких не є доцільним при нормальному функціонуванні. Також при проведенні заходів з ЦЗ потрібно враховувати і внутрішні фактори, що впливають на стійкість: масштаби виробництва, виду продукції, що випускається, чисельність працівників, рівень їх дисциплінованості і компетентності, особливості технології виробництва, системи постачання виробництва сировиною, технічною і питною водою, газо- та електроенергією.

Контроль за виконанням вимог згаданих норм покладається на структурні підрозділи з питань цивільного захисту та надзвичайних ситуацій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Ознайомившись з наявною науковою літературою та дослідженнями різних авторів, було виявлено що на сьогоднішній день, використання БПЛА в сфері обстеження будівель і споруд є недостатньо вивченим.

2. Було визначено високу потребу та актуальність у використанні БПЛА для обстеження будівель і споруд.

3. Удосконалену методику та розроблено нову програму виконання досліджень технічного стану обстежуваних об'єктів.

4. При проведенні порівняльної характеристики актуальних моделей БПЛА, спираючись на такі вимоги як легкість в управлінні, довгий час польоту, наявність датчиків наближення та можливість зльоту з різних типів поверхні – був обраний дрон DJI Mini 2, в комплектації Fly More Combo.

5. При обстеженні технічного стану конструкцій цегляної димової труби не виявлені дефекти та пошкодження (значні тріщини, вибоїни, вивітрювання розчину зі швів цегляного мурування), які не допускають нормальної експлуатації димової труби. При обстеженні металоконструкцій гарнітури димової труби не виявлені дефекти та пошкодження (понаднормові погнутості, викривлення та деформації), які можуть призвести до зниження несучої здатності елементів.

6. Виконання капітального ремонту існуючої димової труби слід здійснювати на підставі спеціально розроблених проектних рішень, у відповідності до чинних нормативів, спеціалізованою організацією, що має відповідну дозвільну документацію чи сертифікованих спеціалістів. В процесі експлуатації необхідно стежити за станом цегляного мурування стовбура труби (наявність деформацій; розвиток тріщин, відколів та вивітрювання розчину зі швів цегляного мурування), а також експлуатацію труби проводити згідно технологічних вимог з експлуатації.

7. Провівши дослідження та проаналізувавши отримані дані були виявлені вагомі переваги в обстеженні за допомогою БПЛА, ніж в аналогічному обстеженні за використання людських ресурсів.

8. Варто зазначити, що технологія порівняно нова, також самі дрони і інструменти для роботи з ними постійно вдосконалюються провідними світовими розробниками, такими як Autodesk, Kimley-Horn та 3D Robotics, виробляється ПЗ для використання та автоматизації процесів.

9. З вищевикладеного можна зробити висновок, що використання безпілотних літальних апаратів модернізує та спрощує всі види обстеження будівель та споруд, значно скорочує терміни проведення досліджень та зменшує ризики. При якісно виконаній зйомці та правильній обробці отриманих даних, можна виявити результати, що задовольняють більшості завдань, що виникають. Описаний метод показує перевагу над традиційними методами обстеження будівель та споруд, є сучасним та актуальним у сфері обстеження об'єктів, будівельного нагляду та контролю.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Безпілótний літальний апарат [Електронний ресурс] https://uk.wikipedia.org/wiki/Безпілótний_літальний_апарат
2. Indoor drones in bridge inspection: between beams and inside box girder [Електронний ресурс] <https://www.flyability.com/casestudies/indoor-drones-in-bridge-inspection-between-beams-and-inside-box-girder>
3. Safe forensic investigation in liverpool parking lot aftermath [Електронний ресурс] <https://www.flyability.com/casestudies/safe-forensic-investigation-in-liverpool-parking-lot-aftermath>
4. Булат А.Ф., Бунько Т.В. «Використання безпілótних літальних апаратів для обстеження аварійних та загрозованих ділянок при виникненні аварійних ситуацій у вугільних шахтах і на будівельних об'єктах» Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, 2018: 30с
5. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. – Науково-дослідний інститут будівельного виробництва, 2016. – 21с.
6. Зенкевич С.Л., Галустьян Н.К. «Розробка математичної моделі і синтез алгоритму кутової стабілізації руху квадрокоптера. Мехатроніка, автоматизація, управління» 2014. № 3. 27-32с.
7. Іщенко В. С. "СИСТЕМА КЕРУВАННЯ БПЛА." ББК 32.97 Т11 .2016. 155с.
8. Зуєв Андрій Олександрович, Дмитро Григорович Караман. "Система моніторингу об'єктів електроенергетичної інфраструктури з використанням БПЛА." 2018.
9. Зуєва Вікторія Олександрівна, and К. В. Турченко. "ОСОБЛИВОСТІ ПРАВОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ БПЛА В УКРАЇНІ: ВІТЧИЗНЯНИЙ ТА ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД." 2017.
10. Юхименко Костянтин, and Наталія Писаренко. "Нові ринки для використання БПЛА в умовах надзвичайних ситуацій." [Електронний ресурс] <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/33616>

11. Ковальчук А. Ю., Н. П. Ковтюх. "Сучасний стан і перспективи використання БПЛА у цивільній авіації України." *Актуальні проблеми інноваційного розвитку кластерного підприємництва в Україні*. Київський національний університет технологій та дизайну, 2020.
12. Фесенко, О. Д. "Удосконалена методика побудови інтелектуальної системи автоматичного управління системою навігації БПЛА." *Наукові нотатки* 60, 2017: 218-224с.
13. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. – Науково-дослідний інститут будівельного виробництва, 2016. – 21с.
14. ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. - Український науково-дослідний та проектний інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського (УкрНДІпроектстальконструкція), 2016. – 20с.
15. ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. - Український науково-дослідний та проектний інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського (УкрНДІпроектстальконструкція), 2016. – 24с.
16. ДБН В.1.1-12:2014 Будівництво в сейсмічних районах України - ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК), 2014. – 16с.
17. ДСТУ Б В.2.6-210:2016 Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються – Український науково-дослідний та проектний інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського (УкрНДІпроектстальконструкція), 2016. – 16с.
18. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. – Науково-дослідний інститут будівельного виробництва, 2016. – 11с.

19. ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення – ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК), 2018. – Таблиця И.1, 71с.
20. Zhang Y.J. Photogrammetric processing of low altitude image sequences by unmanned airship, XXI ISPRS Congress, Beijing, China, 2008.
21. Menti N., Hamel T. A UAV for bridge inspection: visual servoing control law with orientation limits // Automation in Construction. 2007. Vol. 17. №. 1. Pp. 3
22. Cefalo R., Zieliński J.B., Barbarella M. New Advanced GNSS and 3D Spatial Techniques: Applications to Civil and Environmental Engineering, Geophysics, Architecture, Archeology and Cultural Heritage, Luxemburg: Springer, 2017, p.19.
23. Toro F.G., Tsourdos A. UAV Sensors for Environmental Monitoring, Switzerland: MDPI, 2018, p. 64.
24. Kilby T., Kilby B. Getting Started with Drones: Build and Customize Your Own Quadcopter, USA: Maker Media, 2015, p. 18.
25. Ясній П. В. Обстеження збірно-монолітного перекриття будівлі початку ХХ ст. із застосуванням сучасних методів діагностики / Ясній Петро Володимирович, Конончук Олександр Петрович, Якубишин Олег Михайлович // Вісник ТНТУ. — Т. : ТНТУ, 2017. — Том 85. — № 1. — С. 38–46. — (Механіка та матеріалознавство).
26. Ясній П. В. Сучасні методи діагностики стану будівельних конструкцій після їх тривалої експлуатації / Ясній Петро Володимирович, Конончук Олександр Петрович, Якубишин Олег Михайлович // Праці V Міжнародної науково-технічної конференції „Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування “ — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 222–225. — (Механіка та матеріалознавство).
27. Koubaa A. Robot Operating System (ROS): The Complete Reference, Luxemburg: Springer, 2019, p. 82.
28. Perritt H.H. Jr., Sprague E.O. Domesticating Drones: The Technology, Law, and Economics of Unmanned Aircraft, UK: Routledge, 2016, С. 9-12.

29. Готов В. Анализ возможностей использования беспилотных летательных аппаратов для аэрознімальных процессов / В. Готов, А. Гуніна // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, випуск II(28). – 2014. – С. 65–70.
30. М. Луцький, “Розвиток міжнародного регулювання та нормативної бази використання беспилотних летательных аппаратов”, вісник НАУ, ном. 4, с. 5–14, 2015.
31. Reg Austin. Unmanned Aircraft systems; UAVS Design, Development and Deployment / Reg Austin. – A John Wiley and Sons, Ltd. Publication – 2010. – 332 p. – AIAA Education Series.
32. Civil Aviation Safety Authority, Australia. "Unmanned Aircraft and Rocket Operations" [Text]: CASR Part 101. – Australia: CASR, January 2003. – 56 p.