



DOI: [10.71167/uaceg.2026.590124](https://doi.org/10.71167/uaceg.2026.590124)

Получена: 30.10.2025 г.

Приета: 07.01.2026 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ЛЕТАТЕЛНИ АПАРАТИ ПРИ ОБСЛЕДВАНЕ НА МОСТОВИ КОНСТРУКЦИИ

С. Бошнаков¹

Ключови думи: обследване, мониторинг, мостове

РЕЗЮМЕ

С развитието на технологиите се увеличават възможностите за обследване на мостовите конструкции и с безпилотни летателни апарати. Това открива нови възможности за бърз анализ и мониторинг на мостовите съоръжения. В публикацията се анализират различни възможности за приложението им, както и особеностите на съществуващата нормативна база в България и във водещи европейски държави.

1. Въведение

Безпилотните летателни апарати намират все по-голямо приложение в развиващия се икономически свят от забавление, съставяне на любителски фотографии през транспорт на куриерски пратки. В строителството се среща все по-голямо приложение на безпилотните летателни апарати в различни сфери на строителния процес, като транспорт на отделни материали на строителната площадка, полети с цел документиране и наблюдение на обектовата площадка, геодезически и фотограметрични замервания и обследване и оценка на състоянието на строителните конструкции на мостовете.

¹ Симеон Бошнаков, гл. ас. д-р инж., кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: s.boshnakov_fce@uacg.bg

2. Видове безпилотни летателни апарати

Безпилотните летателни апарати (дронове) могат да бъдат класифицирани по различни признаци – от техническата им специфика до тяхното приложение и предназначение. Класифицирането по различни показатели съставя яснота за подбор на най-добрата машина, която би извършила конкретната задача, тъй като не всички са приложими в обследването на мостови конструкции поради своите конструктивни особености.



Фиг. 1. Безпилотни летателни апарати, различаващи се по вида на задвижване от ляво надясно – летящ с крило “IAI Heron”, “DJ Inspire” с четири ротора, роторен “DJJ Spedings Wings” с 8 ротора [1]

Основният признак, според който се разделят дроните, е механизмът на тяхното задвижване [1]. Това е начинът, по който започва да се извършва летенето. Единият вид са оборудвани с крило, подобно на самолетите, докато другият вид са роторни, при които задвижването се осъществява посредством ротационен ротор, оборудван с перка.

При дроните с неподвижно крило (фиг. 1) принципът на движение се осъществява като при самолетите. Подемната сила се получава от движението напред. Съответно при излитане се достига гранична скорост за отлепяне от земната повърхност, а при приземяване скоростта на движение напред стига до нула. Вследствие на механизма, който поражда движението при този тип безпилотни летателни апарати, те са с конструктивна неспособност за позициониране за по-дълъг период стабилно на дадено ниво над земната повърхност. За дълъг период от време те не си изменят местоположението, което е от особена важност при извършването на прецизни измервателни и наблюдателни дейности.

Роторните безпилотни летателни апарати (фиг. 1) извършват своето излитане и кацане чрез регулярното ротационно движение на отделните ротори покрай осите им. Това създава възможността за позициониране над даден обект със сравнително стабилно състояние, докато се провеждат съответните наблюдения и замервания. Те не изискват специално пространство за осъществяването на излитането и кацането поради вертикалното излитане и кацане, за разлика от дроните с крило. Тази тяхна особеност ги прави предпочитани при обследването и заснемането на мостови конструкции.

Други допълнителни характеристики, които не трябва да се изпускат за дадения тип дронове, са изброени в табл. 1 съгласно броя на роторите и съответното им приложение.

Таблица 1. Класификация на различните видове безпилотни летателни апарати [1]

Роторно задвижване				С фиксирано крило
Брой на роторите	Общо тегло [ок.]	Разходи за придобиване	Управление	без възможност за приложение в мостовото строителство
1	< 0,25 kg	за спорт и забавление	механично	
2	0,25 kg до 2 kg			
4				
6	2 kg до 5 kg	професионални	частично автономни	
8				
10	5 kg до 25 kg	автономно		
.....	> 25 kg			

Безпилотните летателни апарати притежават симетрична конструкция и разположение на роторите. Това създава възможност за удобно управление и ги прави удобни за употреба при недостъпни места или места със сложен достъп, като създава възможност за прецизно управление.

Според вида на своето предназначение дроновете могат да се разделят на универсални и специализирани летателни апарати. Специализираните устройства са снабдени със съответното професионално оборудване, което им дава възможност да намерят съответното приложение.

При монтажа на специализираното оборудване към дадено безпилотно летателно устройство трябва да се съблюдава начинът на подбора на отделните компоненти, така че да не се нарушава маневреността на летателния апарат, неговата сигурност и качеството на полета, което ще осигури надеждността и достоверността на събираните данни.

Таблица 2. Типове компоненти на безпилотните летателни апарати [2]

Стандартни компоненти	Основна система	Шаси, мотори, батерия, излъчвател, дистанционно управление и др.
	Допълнителни датчици	Навигираща камера, сензори (за ускорение, компас, термометър, за напрежения, ултразвук), жироскоп, GPS приемник, барометър и др.
	Допълнителни компоненти към летателната система	Бордови компютър, контролер на полета, софтуер за стабилизиране, системи за излитане и кацане
Специализирани компоненти	Специфични сензори	RGB – камера, лазер, инфрачервена камера и др.
	Допълнителни специфични компоненти за летателния апарат	Бордова електроника и софтуер за навигиране, допълнително управление на дадени елементи, допълнителни компоненти за специализираното оборудване
	Допълнително оборудване	Защити, задвижване и окачващи устройства за специализирани сензори

В табл. 2 е направена класификация на видовете различни датчици, механизми и сензори за дооборудване на летателните апарати така, че да се получи максимално добър подбор на дадените компоненти според целите и нивото на оборудване спрямо

съответната категория. Например някои дроневи са с RGB камера [1], която е стандартно оборудвана. В някои варианти като допълнително оборудване към нея може да се добавят лазерни скенери и др.

На фиг. 2 са дадени някои сензори, които са използвани в изследователски проект [3].



Фиг. 2. Безпилотни летателни апарати, различаващи се по вида на задвижване от ляво надясно – летящ с крило “IAI Heron”, “DJ Inspire” с четири ротора, роторен „DJJ Spreadings Wings” с 8 ротора [1]

В повечето случаи ако дронът е със специализирано предназначение първо се закупува летателният апарат, след което се докомплектова с подходящо оборудване за извършване на съответните специализирани дейности. При извършването на монтажа на допълнително оборудване е необходимо да се спазват някои препоръки, дадени в [1].

3. Нормативна уредба

Вследствие на все по-широкото приложение на безпилотните летателни апарати (дроневи) в икономическия живот на обществото и различните цели на тяхното приложение от забавление и спорт до транспорт на стоки и извършване на специализирани измервателни дейности са дефинирани Европейски регламенти и национални нормативни уредби, които дефинират начина и условията на използване на тези летателни апарати. Също така в някои нормативни документи са дефинирани и допълнителни режими на лицензиране на лицата, които притежават и използват дроневи.

В [4] експлоатацията на безпилотни летателни апарати се разделя на две основни групи – неограничена и специфична.

Освен това съгласно нормативно действащата законова база в република България е необходимо лицата, които управляват дроневи, да се регистрират, освен ако дронът не попада в изискванията на [5] и да покрива изискванията за детски играчки или е с обща маса под 250 g, липсват камера и сензори, които биха могли да уловят лични данни.

За извършването на полети също са налични някои ограничения, както и за тези, които са в неограничената категория [4 – 8]:

- Максималната допустима височина на полет над терена е 120 m.
- Безпилотно управляваният летателен апарат винаги трябва да попада във визуалния обхват на дистанционно управляващия пилот.

- Допълнителни изисквания за максималните тегла на летателните апарати в зависимост от мястото на подкатегорията, където се извършва полетът.

4. Приложение при мостовете

Приложението на безпилотните летателни апарати е много разнообразно и широко в мостовото строителство, като геодезически заснемания в проектните фази, наблюдение на деформации върху повърхността на терена, визуален контрол и наблюдение вследствие на мониторинг и документиране на различните етапи на изпълнение през оглед и оценка на състоянието на съществуващи конструкции – обследване. Всички тези отделни приложения могат да са част от едно цялостно обследване на дадена мостова конструкция.

4.1. Геодезически измервания

За геодезически задачи се използват специални летателни апарати, които са със съответното специализирано оборудване, което може да регистрира пространствени обекти. Това са уреди за дистанционно наблюдение като различни видове радарни устройства, лазерни скенери. Също така могат да се извършват и фотограметрични изображения, които да бъдат използвани за определяне на тримерната форма на обектите и пространственото местоположение на обектите.

От проведените геодезически заснемания с дронове, които са оборудвани с лазерни измервателни устройства, се генерира облак от точки. След провеждането на обработка на получения облак от точки се генерира пространствен модел на профилирания терен. От този модел могат да се изчислят разстояния, площи и обеми, които са необходими в отделните фази на строителния процес проектиране, актуване на различни видове дейности по време на строителството, документиране и наблюдение с цел надзор. Не трябва да се пропускат и някои факти, които оказват влияние върху точността на проведените геодезически замервания, като стабилното позициониране при извършване на измерванията, отклонения на лазерния скенер и др. Този подход и начин за провеждане на геодезическите измервания е икономически и времеви ефективен при измерване на земни работи и труднодостъпни местности.

4.2. Документиране и мониторинг

По време на изпълнението на строителния процес могат да се правят различни въздушни снимки с цел отчитане на отделните етапи на изпълнението, съставяне на техническа документация и визуален контрол на повреди в конструкции на труднодостъпни места. Освен това от проведените заснемания могат да се извършват наблюдения на трафика, които да показват опасни точки, в които биха възникнали инциденти и биха спомогнали за тяхното предотвратяване.

Въздушните снимки, когато са направени с добро качество и висока резолюция, могат да послужат за анализ на процеси, които оказват влияние на строителната конструкция.

4.3. Приложение при обследването на строителни конструкции

С развитието на нормативната база и технологиите в стандартите за обследване на строителни конструкции в Германия [9] се дефинират възможностите и условията, при които да се използват дроне за инспекция и обследване на строителни конструкции. Съгласно [9] безпилотните летателни апарати могат да се използват за безконтактна инспекция на строителните конструкции на мостовете, които са част от пътната мрежа. Това са само някои типове регулярни проверки, защото е безконтактно обследване [1, 9]:

- Обикновени инспекции, наблюдения, регулярни наблюдения и особени изпитвания.
- Предварителна инспекция преди провеждането на основно изпитване на конструкцията.
- Надзорни контролни полети.
- Постоянен регулярен мониторинг на конструкцията.

Този начин за обследване на строителните конструкции е подходящ, стига те да са достъпни за хората и безпилотните летателни апарати. Въпреки големите възможности, които притежава летателният апарат, и при него се срещат затруднения от теренните особености, като растителност, сгради, опасност от срутвания, възможности от токов удар (при допир с електропроводи), зони над реки или голяма надморска височина.

Дроните също могат да се използват и за събиране на данни от разположени датчици по мостовите съоръжения, като при преминаването си те предават и получават данни от RFID устройството [10].

Таблица 3. Различни приложения на някои стандартно произведени дроне и доокомплектовани [14]

Model	Application	Commercial / Self-built	Sensor	Payload [kg]	Flight time [minute]	Communication Protocol	References
Parrot AR 2.0	Damage detection	Commercial	720p resolution with 30 fps camera	-	12	Wi-Fi	[26]
DJI Phantom 3	System identification	Commercial	1080p resolution with 25 fps camera	0.7	25	Enhanced Wi-Fi	[27]
PSI InstantEye	Displacement measurement	Commercial	720p resolution with 30 fps camera	2.25	30	Pico digital data link	[28]
DJI Phantom 3 pro	Vibration measurement	Commercial	2160p resolution with 24 fps camera	0.7	23	Lightbridge	[29]
DJI Phantom 4	Modal identification	Commercial	2160p resolution with 30 fps camera	0.8	30	Lightbridge	[30]
DJI Matrice 600 pro	Transverse displacement	Commercial	Laser Doppler Vibrometer (LDV)	2.0	25	Lightbridge 2 HD	[31]
DJI Spark	Vibration measurement	Commercial	1080p resolution with 30 fps camera	0.167	15	Wi-fi	[32]
DJI Mavic air 2	Vibration measurement	Commercial	4 K resolution with 30 fps camera	0.5	34	OcuSync 2.0	[33]
DJI M200	Cable force estimation	Commercial	2160p resolution with 60 fps camera	1.45	38	OcuSync 2.0	[34]
DJI Mavic Pro	Modal Analysis	Commercial	1080p resolution with 96 fps camera	0.5	27	OcuSync	[35]
DJI Mavic 2 Enterprise Dual	Modal Analysis	Commercial	4 K resolution with 30 fps camera	0.5	31	OcuSync 2.0	[35]
DJI Inspire 2	Crack identification	Commercial	Zenmuse X5S	0.8	27	Lightbridge	[36]
Assembled	Crack and moisture detection	Self-built	DSLR camera 8 K resolution +1D LIDAR	-	30	-	[12,37]
Assembled	Contact-based modal analysis	Self-built	No camera	0.38	5	FrSky 2.4 GHz	[38]
Assembled	3D reconstruction model. Crack, humidity and deformation detection	Self-built	DSLR camera with high resolution + LIDAR + LWIR sensors	5	-	-	[39]

Освен изброените приложения на дроновете в строителството, които са стандартизирани и се предлагат окомплектовани и готови за употреба, в последните години се провеждат множество и различни видове изследователски проекти за намирането на подходи за обработване на събраните данни от безпилотните летателни апарати, които са подробно описани и развити в [11 – 13].

Така в [14] са разделени дроновете от различни производители, като са описани и съответните приложения в табл. 3, откъдето се вижда, че част от изброените дронове са оборудвани според нуждите на съответния изследователски проект. От направеното изследване се вижда, че са налични приложения като разпознаване на дефекти и повреди при мостовете, измервания на премествания, измервания на вибрации и откриване на собствени честоти на конструкциите спрямо приложено вибрационно натоварване, откриване и измерване на пукнатини.

В някои от измерванията, като разпознаване на пукнатини и повреди, се използват стандартните оборудвания на дроновете, като RGB камери, термокамери, лазерни датчици за измервания на разстоянията. Примерно разпознаването на дефектите, броя и вида на пукнатините става чрез използването на камери, които правят снимки и видео записи, които в последствие биват обработвани посредством фотограметрични, софтуери за обработка на снимков материал, базирани на изкуствен интелект или други методи за графична обработка на съответните изображения (фиг. 3).



Фиг. 3. Генерирана траектория за обследване на мостово съоръжение в пространствен модел [15]

При полет с цел събиране на максимална информация са проведени изследвания за вида и начина, по който трябва да се планира даденото обследване, като се дават точни препоръки за проектиране на траекторията за облитане на даденото мостово съоръжение. При провеждането на полетите трябва да се съобразят и отчетат всички фактори, които биха оказали положително влияние върху точността на полета от външната атмосфера, поради значителната чувствителност на точността на събираните резултати и множеството фактори, които биха оказали влияние.

В [16] са разгледани различни подходи за обработката и анализа на снимков материал от обследването на различни мостове, като са направени и съпоставки на отделните подходи и анализ на достоверността на постигнатите резултати (фиг. 4).



Фиг. 4. Примери за различни видове повреди в стоманобетонни мостове, автоматично локализирани [16]



Фиг. 5. Дрон за измерване на собствени честоти, закрепен към конструкцията [17]

Друго интересно приложение на безпилотните летателни апарати е при измерване на вибрации и собствени честоти на мостовите от трафик или възбудени трептения при даден вид изпитвания при възбудени вибрации в конструкцията [17]. В [13] са разгледани и подходи за измерването на модалните честоти на мостовите конструкции на базата на визуални методи.

На фиг. 5 е показан дрон, закрепен към пътното платно на мостово съоръжение, който в конкретния случай измерва трептенията на конструкцията. При този метод за измерване на вибрациите безпилотният летателен апарат се закрепва към пътната плоча за даден момент посредством собствените си роторни двигатели посредством така наречения ефект на тавана.

При закрепянето на безпилотните летателни апарати от долната страна на пътната мостова плоча не е необходимо ограничаване на трафика, използване на допълнителни оборудвания на дрона за прикрепяне към конструкцията, за разлика от безпилотните летателни апарати, които се закрепят от горната страна на пътната плоча. При тях е необходимо да се прикрепят допълнителни приспособления, посредством които те да се свържат към конструкцията. Освен това при такъв вид измервания е необходимо да се ограничи трафикът и да се осигури достъп на изследваната конструкция.

5. Заключение

Безпилотните летателни апарати намират все по-голямо приложение в мониторинга на изпълнение на мостовите конструкции, както и в тяхната инспекция и обследване на дефекти и повреди. Провеждат се множество изследователски проекти за внедряване и на нови приложения, като автоматизирано разпознаване на дефекти в мостовите конструкции, измервания на вибрациите на конструкциите. От друга страна се подобряват постоянно характеристиките и конструкциите на летателните апарати, които трябва да са в състояние да обезпечат поставените предизвикателства в задачите за обследване. Също така се разработват и подхождат и методите за обработване на получените данни. Освен това в някои държави са налице и нормативни изисквания към изпълнението на инспекция на пътните мостове с безпилотни летателни апарати, което е показател за нормативното внедряване и посочва потенциала им за обследванията и подходите при анализиране с такива средства, които трябва да бъдат стандартизирани.

Всички тези факти показват огромния потенциал и се разгръщат пред приложението на безпилотните летателни апарати при регулярна инспекция на мостовите съоръжения и съответната оценка на възникналите дефекти в мостовите конструкции при значително кратки срокове и без особени ограничения в достъпа при обследвания, без да са необходими допълнителни организационни процедури и подходи.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. *Otto, J., Weller, C.* Einsatz unbenannter Flugsysteme im Brückenbau. Tagungsband 28, Dresdner Brückensymposium 12/13 März 2018, Technische Universität Dresden, Institut für Massivbau.

2. *Schlach, R., Weller, C.* Bauwerksüberwachung mit Flugrobotern: In: Kaliske, M., Graf, W. (Hrsg.) Tagungsband zum 19, Dresden Baustatik Seminar – Herausforderungen und neuen Lösungen für die Tragwerksplanung, 23.10.2015 in Dresden, Dresden: Institut für Stadtentwicklung BMVBS, Hrsg.: ASB0 ING: Anweisung Strasseninformationsbank. Berlin 10/2013.

3. Homepage zum Forschungsprojekt ADFEX: <http://adfex.wcms-file2.tu-dresden.de/>.
4. Glavna Direkcija grajdanska vazduhoplavalatna administracia. Ministerstvo na transporta i saobshteniata. Obshti minimalni iziskvania za eksploatacia na dronove saglasno reglament za izpalnenie ne (EC) 2019/947.
5. Direktiva 2009/ 48 EO na Evropeiskiat parlament i na saveta ot 18 iuni 2009 godina odnosno bezopasnosta na detskite igrachki. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/bg/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0048>.
6. Naredba № H-6 ot 11.04.2023 g. za usloviata i reda za eksploatacia na bezpilotni letatelni sistemi i nadzor na tehните operatori. Ministerstvo na transporta I saobshteniata.
7. Narachnik na inspektora – bezpilotni letatelni sistemi. Glavna Direkcija vazduhoplavalatna administracia. Ministerstvo na transporta i saobshteniata.
8. Reglament za izpalnenie na (EC) 2019/947 na Komisiata ot 24 mai 2019 godina odnosno pravilata i procedurite za eksploatacia na bezpilotni vazduhoplavalatni sredstva.
9. DIN 1076: 1999-11. Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen – Überwachung und Prüfung.
10. *Stoppel, M., Bartholmai, M.* Einsatzfähigkeit von RFID-Tags zur Identifikation und Diagnose von Bauteilen der intelligenten Straßeninfrastruktur. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt, Hrsg.): Tagungsbroschüre zum Symposium Intelligente Brücke – Der Weg in die Praxis, 30.11.2015 in Bergisch Gladbach, 2015, S. 17.
11. *Lampropoulos, K., Moropoulou, A., Mouzakis Ch., Sapountzakis, E. J., Georgopoulos, A., Sotiropoulos, P., Salakidis, A., Tsilimantou, E.* Bridge inspection, evaluation and maintenance, within the Greek framework: Challenges and perspectives. Technical Annals. International scientific Journal in Advances and Engineering. Risk Assessment and Preservation of Civil Infrastructure in the Climate crisis Area. e-ISSN 2945-0330, DOI: 10.12681/ta.41738.
12. *Aliari, M., Ashrafi, B., Ayele, Y. Z.* Drone – Based Bridge Inspection in Harsh Operating Environment: Risk and Safeguards. International Journal of Transport Development and Integration – June 2021, DOI: 10.2495/TDI-V5-N2-118-135.
13. *Panigatti, T., Zini, M., Striccoli, D., Giordano, P. F., Tonelli, D., Limongelli, M. P., Zonta, D.* Drone – based bridge inspections: Current practices and future directions. Elsevier Automation in Construction 173 (2025) 106101, www.elsevier.com/locate/autcon.
14. *Poorghasen, S., Bao, Y.* Review of robot – based automated measurement of vibration for civil engineering Structures. Measurement (Lond) 207, 2023.
15. *Margenthal, G., Hallermann, N., Kersten, J., Taraben, J., Debus, P., Helmich, M., Rodenhorst, V.* Framework for automated UAS – based structural condition assesment of bridges, Autom Const, 97 (2017).
16. *Yang, X., del Rey Castillo, E., Zou, Y., Wotherspoon, L.* UAV-deployed deep learning network for real – time multi – class damage detection using model quantization techniques. Autom. Constr, 159 (2024).
17. *Sanchez-Cuevas, P. J., Heredia, G., Ollero, A.* Multirotor UAS for bridge inspection by contact using the ceiling effect. In: 2017 International Conference on Unnamed Aircraft Systems ICUAS, 2017.
18. Delegiran reglament (EC) 2019/945 na komisiata ot 12 mart 2019 godina.

APPLICATION OF AIRCRAFT IN THE INSPECTION OF BRIDGE STRUCTURES

S. Boshnakov¹

Keywords: monitoring, bridge structures, drones, inspection

ABSTRACT

With the development of technologies, the possibilities for inspecting bridge structures with unmanned aerial vehicles are increasing. This opens up new opportunities for rapid analysis and monitoring of bridge facilities. The paper analyzes various possibilities for their application, as well as the specifics of the existing regulatory framework in Bulgaria and in leading European countries.

¹ Simeon Boshnakov, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: s.boshnakov_fce@uacg.bg