

## DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE DRONE FOR UNDERGROUND CONDITIONS

**Alexander Krilchev**

*University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: krilchev@mgu.bg*

**ABSTRACT.** Health and safety risk management in underground work is of paramount importance. The application of inherently different methods to eliminate or limit the identified risk reduces the likelihood of creating conditions for incidents and accidents to occur. In this regard, the use of unmanned aircraft to control the parameters of the working environment, measure gas concentrations, control the state of the array and the working environment, etc. makes it possible to obtain accurate and reliable information about the conditions of the working environment and the dangers associated with the activities performed in underground conditions. On the basis of the information obtained, correct and appropriate decisions can be taken to reduce and limit the impact of the risk. In addition, the use of drones in emergency situations allows quick and accurate measures to be taken to eliminate accidents and their consequences.

**Key words:** risk, drone, power, design, motors, blades

### РАЗРАБОТВАНЕ НА ПРОТОТИП НА ДРОН ЗА РАБОТА В ПОДЗЕМНИ УСЛОВИЯ

**Александър Крилчев**

*Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София*

**РЕЗЮМЕ.** Управлението на риска за здравето и безопасността при работа в подземни условия е от първостепенно значение. Прилагането на различни по своята същност методи за елиминиране или ограничаване на установения риск намалява вероятността от създаване на условия за възникване на инциденти и злополуки. В тази връзка използването на безпилотни летателни средства за контрол на параметрите на работната среда, измерване на концентрациите на газове, контрол на състоянието на масива и работната среда и т.н. дава възможност за получаване на точна и достоверна информация за условията на работната среда и опасностите, свързани с изпълняваните в подземни условия дейности. На база на получената информация могат да се вземат правилни и адекватни решения за намаляване и ограничаване въздействието на риска. Освен това използването на дроне при аварийни ситуации позволява да се предприемат бързи и точни мерки за ликвидиране на аварията и последиците от тях.

**Ключови думи:** риск, дрон, захранване, проектиране, мотори, перки

### Въведение

Извършване на различни дейности при подземният добив на полезни изкопаеми, подземното минно, градско и тунелно строителство са едни от най-високо рисковите по отношение на безопасността. Основната причина за това са специфичните условия на труд, които създават предпоставки за възникване на аварии и злополуки. За недопускане създаването на такива условия се планират и прилагат различни мерки свързани с мониторинг на параметри на работна среда, контрол и управление на производствени процеси, машини и съоръжения, контрол на изпълнение на различните производствени дейности и т.н. Това може да бъде осъществено чрез използване на безпилотни летателни средства. Използването на дроне при работа в подземни условия е иновативен, високо ефективен и безопасен метод за събиране на точна и достоверна информация. Тази информация дава възможност за планиране и прилагане на подходящи превантивни и оперативни мерки свързани с осигуряване на безопасността на работещите в подземни условия. Не по-маловажно е и използването на дроне и при аварийни ситуации – пожари, експлозии, водни и кални пробиви, свличане на земни и скални маси и други аварии от подобен тип. Чрез получените данни от извършеното наблюдение могат да се прилагат адекватни мерки за спасяване на пострадали работници, ограничаване развитието на аварията и ликвидиране на последиците от нея.

### Условия влияещи върху полета на БЛА в подземни условия

Управлението на дроне в подземни условия е значително по-сложно в сравнение с управлението на

открито. Недоброто направляване на БЛА създава риск както за степента на изпълнимост на планираните за изпълнение задачи, така и за коректността на получените резултати. Освен това вероятността от увреждане на дрона под земята е значително по-голяма в сравнение с използването му при полеви условия. Условията и факторите, които създават трудности при управлението му са:

1. Наличие на ограничени пространства и препятствия по пътя на летенето;
2. Слаба или липса на осветеност;
3. Наличие на прах;
4. Висока скорост на движение на въздушните потоци в минните изработки;
5. Наличие на вибрации от машини, съоръжения и оборудване работещи под земята;
6. Липса на GPS сигнал;
7. Лоша комуникация;

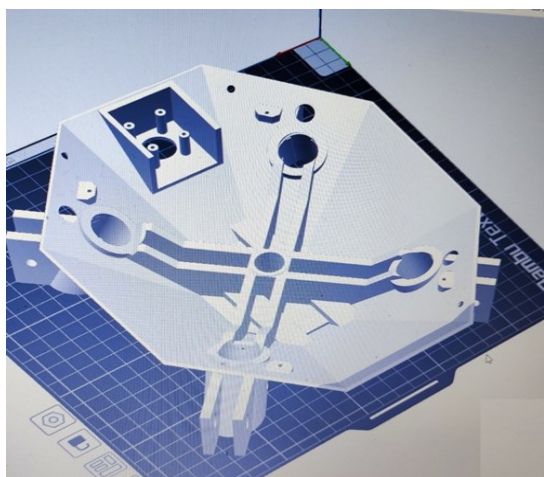
В зависимост от посочените условия и фактори рисковете при използване на дрон в подземни условия са свързани с опасност от удар в тавана или стените на минните изработки, удар в хора, машини и съоръжения, разположени по пътя му за движение. На следващо място наличието на прах създава условия за намалена видимост на камерите, замърсяване на сензорите и ненормална работа на двигателите. Високата скорост на въздушния поток в минните изработки създава трудности при управление на дрона. Наличието на вибрации от машини, съоръжения и оборудване създава опасност от смущения в работата на сензорите и устойчивостта на полета. Липса на GPS сигнал създава невъзможност за използване на GPS за позициониране и навигация, а лошата комуникация поради липса на радиосигнал или наличие на слаб сигнал създава риск както за неизпълнение на дадената работа

така и за целостта и функционалността на самото летателно средство.

За да се елиминират или намалят опасностите при управление на полета е необходимо да се приложат комплекс от мероприятия свързани с контрола на полета, използване на мотори за компенсация, използване на специално оборудване и софтуер, използване на нови методи за навигация - инерционни навигационни системи, сензори и т.н.

### Конструиране на нов модел дрон за работа в подземни условия

Освен изброените мерки за намаляване на опасностите при управление на дрона, важно значение за ефективната и стабилна работа има здравината на конструкцията му. Голяма част от предлаганите на пазара дронове не са подходящи за работа в подземни условия. Използването на такъв тип БЛА трябва да отговаря на определени изисквания като едно от тях е здравината и устойчивостта на външни въздействия на конструкцията. Тя трябва да бъде достатъчно здрава за да не се деформира и чупи при удар в стените или тавана на минните изработки при удар в препятствия по пътя на движение, при падане на материал от тавана. За да се елиминира или минимизира този риск бе разработена нова конструкция на корпуса на дрон (фиг.1 и фиг.2), устойчив на външни въздействия.



Фиг. 1. Основа на дрона

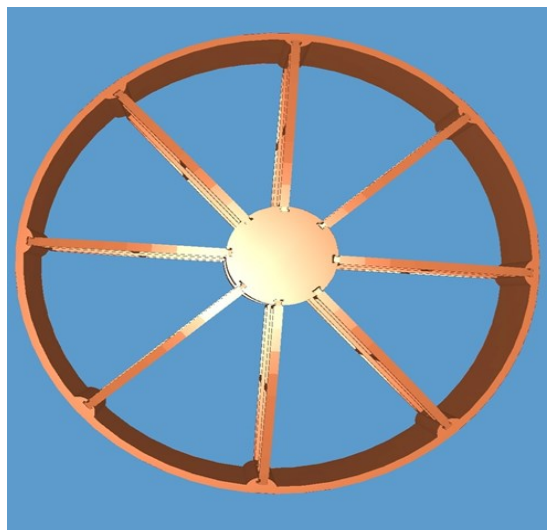


Фиг. 2. Капак на тялото на дрона

Освен нова конструкция на корпуса бе разработена и подходяща конфигурация за разполагане на тялото и перките (фиг. 3 и фиг.4) с цел оптимална работа на БЛА.

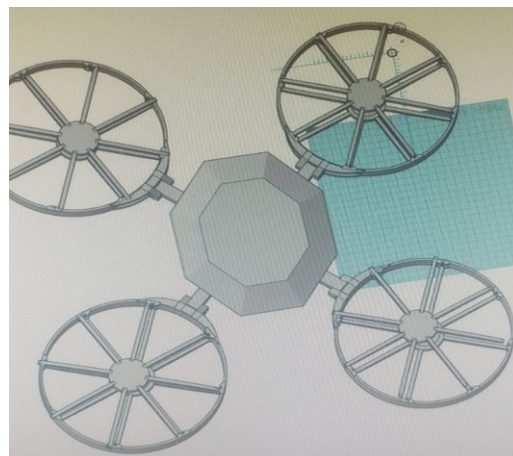


Фиг. 3. Конструкция на тялото на дрона

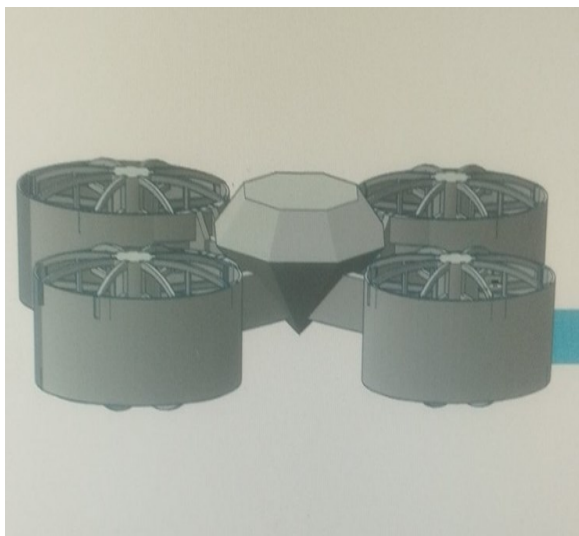


Фиг. 4 Конструкция на перката

Общият вид на новата конструкция на дрона е показана на фиг. 5а и фиг. 5б.



Фиг. 5а. Общ конструктивен вид на дрона



Фиг. 5б. Общ конструктивен вид на дрона

След разработване на 3D модела на дрона се пристъпи към изработване на физическия му модел (фиг 6). Бяха избрани материали с необходимите якостни показатели за изработване за тялото, перките и предпазителите за тях. Освен това бяха избрани и двигатели с необходимите технически характеристики (таблица 1) за осъществяване на режима на полета на летателното средство.



Фиг. 6. Общ вид на прототип на дрон

След създаване на физическия модел бяха проведени пилотни изпитвания свързани с определяне на времето за летене, стабилност при полет, тест за еластичност на тялото и якост на летателното средство. Получените опитни резултати (фиг. 7) дадоха възможност чрез извършване на корекции по тялото на дрона, захранването (фиг. 8) и вида и предпазителите на перките му (фиг. 9) да се подобрят, посочените технически характеристики

Таблица 1. Технически характеристики на двигатели

Мотори		Перки	
Брой мотори	8	Размер на перките - in	8.5x5
KV рейтинг	925 KV	Брой перки	8
Максимална мощност - W	1100	Контролер	
Тегло на моторите - kg	0,067	Модел	Pixhawk 6C
Максимални обороти в минута - (RPM)	20.350	Ground Station	Комплект лаптоп и телеметрия 915 MHz
Рамка	Карбон и алуминий	Батерия	
Общо тегло на дрона- kg	2.5	Тип	LiPo 6S
Сензори за заобикаляне на препятствия		Капацитет mAh	6800

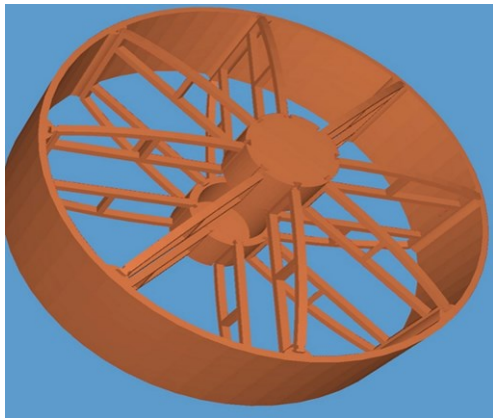
Важен показател при избора на двигатели е времето за летене. То зависи от различни фактори, включително теглото, конфигурацията на моторите и перките, условията на летене и режима на полет. При капацитет на батерията 6800 mAh, напрежение 6S = 22.2V и мощност 150.96 Wh, времето за летене при консумация от 300 W е приблизително около 30 минути. При консумация обаче от 400 W времето за летене ще бъде около 22 минути.



Фиг. 7. Състояние на дрона след падане от 10 метра



Фиг. 8. Захранване на дрона

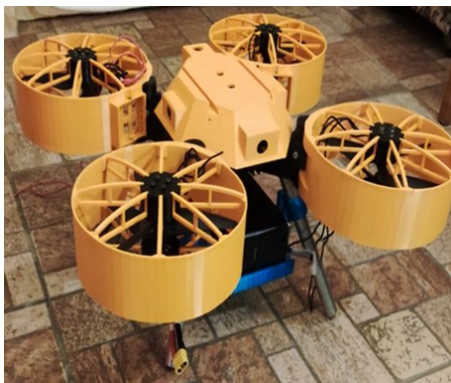


Фиг. 9. Предпазители на перките на дрона

Следващият етап от експерименталната част е насочена към изпитване на новата конструкция на дрона (фиг. 10) и оценка на ефективността на извършените подобрения.



Фиг. 10а. Нова конструкция на дрон



Фиг. 10б. Нова конструкция на дрон

## Заклучение

Създаването на здрав и устойчив на външни въздействия дрон с продължително време на летене, ще даде възможност да бъде оборудван със специфична апаратура и да бъде използван при аварийни ситуации. По този начин това ще даде възможност да се определи мястото и вида на аварията, последиците от нея, да се извършва дистанционен контрол на газовата обстановка при непригодна за дишане среда, оглед на мястото на аварията, издирване на пострадали работници, състояние на масива и крепежа. По този начин риска за работниците и спасителните екипи ще бъде минимален, а получената информация ще даде възможност да се прецени обстановката, да се оцени риска за безопасността и да се предприемат съответните мерки за оказване на първа помощ и ликвидирание на последициите от аварийната ситуация.

**Благодарности:** Авторът изказва специална благодарност на инж. Христо Танев за оказаното съдействие при разработване на прототипа на дрона.

## Литература

- Балев, В. (2018). 3D симулация при прокарване на тунел с помощта на 2D софтуер по метод на крайни елементи, *сп. „Минно Дело и Геология“*, бр. 5-6, ISSN 0861-5713 ISSN 2603-4549 (online).
- Костадинова, Н., Македонска, Д., Владкова, Б. (2023). Приложение на стационарни противопожарни системи в пътни тунели в България, *Пети международен симпозиум и изложба за подземни разкопки, УЯК2023 „Градове на бъдещето, градско тунелиране и подземни разкопки“*, Истанбул, ISBN 9 78 -605-01-1568-0, стр. 477-488
- Makedonska D., Michaylov, M. (2019). Need for fixed fire fighting systems in road tunnels. *Journal of mining and geological sciences*, Volume 62, pp. 60-65, ISSN 1312-1820.
- Gorbounov Y., Dinchev, Z., Chen, H. (2022). Hazardous gas evaluation in the atmosphere of an open pit mine using wireless technology, *30th National Conference with International Participation “Telecom 2022”*, October 27 - 28, 2022, Sofia, Bulgaria, ISBN 978-1-6654-8212-7, IEEE Catalog Number CFP22V40-ART