

# ОЦЕНКА И ОПТИМИЗАЦИЯ КАЧЕСТВА МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ, ПРОВОДИМОГО С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ломакин М.И., д-р техн., д-р эконом. наук, проф., гл. науч. сотр. ВНИИ ГОЧС (ФЦ), гл. спец. ФГБУ «РСТ»

Докукин А.В., д-р эконом. наук, гл. науч. сотр. ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Сланчак О.Ю., науч. сотр. ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Ким С.Р., аспирант НИЦИ МИД России

Сафарова С.Ю., аспирант ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

*Рассмотрена задача оценки и оптимизации качества мониторинга территориально-распределенных объектов с помощью беспилотных летательных аппаратов. Предполагается, что мониторинг осуществляется в рамках следующей схемы: полный мониторинг территориально-распределенного объекта проводится с помощью космического аппарата на орбите. В случае возникновения природного, технологического или иного инцидента на территориально-распределенном объекте информация о нем передается в орган управления, который направляет на систему, в которой возник инцидент, беспилотный летательный аппарат. Он осуществляет детальный мониторинг и передает информацию об инциденте в орган управления для выработки решений по устранению инцидента. Предложен показатель качества мониторинга территориально-распределенного объекта как вероятность того, что в произвольный момент времени возникновения инцидента в одной из систем территориально-распределенного объекта у органа управления будет хотя бы один незадействованный в мониторинге беспилотный летательный аппарат, который способен выполнить детальный мониторинг состояния данной системы. Задача оптимизации качества мониторинга формулируется как задача максимизации предложенного показателя качества при ограничении на стоимость, используемых беспилотных летательных аппаратов.*

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, вероятность, стоимость, мониторинг, качество, оптимизация.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) применяются в самых различных ситуациях: и при обнаружении и ликвидации чрезвычайных ситуаций, и при мониторинге территориально-распределенных объектов, таких как, например, как нефте- и газопроводы.

Основная идея здесь состоит в следующем: предполагается, что беспилотники будут непрерывно или периодически осуществлять мониторинг территориально-распределенных объектов, передавая информацию об их состоянии соответствующим органам управления (ОУ) [1].

Рассмотрим общий случай, когда у ОУ имеется  $b$  ( $b > 0$ ) БПЛА, которые осуществляют мониторинг территориально-распределенного объекта, у которого имеется  $to$  ( $to > 1$ ) систем (это могут быть участки нефтепровода). Мониторинг осуществляется в рамках следующей схемы: полный мониторинг территориально-распределенного объекта проводится с помощью космического аппарата КА орбите. Так, например, в интересах МЧС России мониторинг российской территории осуществляют такие космические аппараты, как «Метеор-М», «Канопус-В», «Канопус-В-ИК», «Ресурс-П».

В настоящее время в системе МЧС России на оснащении реагирующих подразделений находится 1591 единица

БПЛА, в том числе: 1554 единицы вертолетного (мульти-роторного) типа, из них 132 единицы оснащены тепловизорами; 37 единиц самолетного типа [2].

Основными используемыми типами БПЛА являются Гра-нада BA-1000, ZALA 421-16E, ZALA 421-08M, ZALA 421-22, Phantom 3 Professional, Inspire 1 и др. Назначение и характеристики данных БПЛА описаны в статье [3].

В случае возникновения природного, технологического или иного инцидента на территориально-распределенном объекте информация о нем передается в ОУ, который направляет на систему, где возник инцидент, БПЛА. Он осуществляет детальный мониторинг и передает информацию об инциденте в ОУ для выработки решений по устранению инцидента.

Цель настоящей статьи состоит в разработке модели оценки и оптимизации качества мониторинга территориально-распределенных объектов, проводимого с помощью БПЛА.

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

Вопросы оценки и оптимизации качества различных объектов рассматривались в ряде публикаций настоящего журнала [4–6]. Далее в статье будем придерживаться общепринятого подхода, согласно которому, показатель качества рассматривается как вероятностный функционал, например, вероятность безотказной работы, коэффициент готовности, средние затраты и др. [4–7].

БПЛА в настоящей статье рассматриваются как обслуживающая подсистема – подсистема, выполняющая автономное обслуживание (мониторинг) территориально-распределенного объекта, ОУ – как обслуживаемый объект. В работе авторов [8] получен следующий результат.

Определена вероятность события, состоящего в том, что в произвольный момент возникновения инцидента в обслуживаемой системе (в настоящем случае в территориально-распределенном объекте) у обслуживающего объекта (в настоящем случае у ОУ) будет хотя бы одна обслуживающая подсистема (в настоящем случае один БПЛА), которая сможет выполнить обслуживание (в настоящем случае – выполнить детальный мониторинг инцидента), т.е. в наличии одна обслуживающая подсистема, незадействованная в обслуживании системы (будет один БПЛА, который не задействован в мониторинге другого инцидента). Эта вероятность равна

$$P = 1 - p_{to,b}, \tag{1}$$

Вероятность  $p_{to,b}$  определяется следующим выражением [7–10]:

$$p_{to,b} = \frac{1}{b!} \frac{d^b}{dy^b} \prod_{j=1}^{to} (q_j + yp_j) /_{y=0}, \tag{2}$$

где вероятность  $p_j = 1 - q_j$  определяется в виде:

$$p_j = \frac{m_{yj}}{m_{xj} + m_{yj}}. \tag{3}$$

В последнем выражении:

$m_{xj}$  – математическое ожидание длительности нормального функционирования j-ой системы территориально распределенного объекта,

$m_{yj}$  – математическое ожидание длительности ненормального функционирования j-ой системы территориально распределенного объекта,

В случае, когда параметры, характеризующие процесс функционирования систем объекта одинаковы (примерно одинаковы), т.е. когда

$$p_j = p = const, j = \overline{1, to},$$

соотношение (2) может быть представлено в виде;

$$p_{to,b} = C_{to}^b p^b (1 - p)^{to-b}. \tag{4}$$

В последнем выражении  $C_{to}^b$  – сочетание из  $to$  по  $b$  или биномиальный коэффициент, определяемый соотношением [9, 10]:

$$C_{to}^b = \frac{to!}{b!(to-b)!}. \tag{5}$$

Вероятность P, определяемая соотношением (1), может рассматриваться как показатель качества мониторинга территориально-распределенного объекта с помощью БПЛА. Модель оценки качества мониторинга территориально-распределенного объекта с помощью БПЛА состоит в определении вероятности P – вероятности того, что в произвольный момент времени возникновения инцидента в одной из систем территориально-распределенного объекта у органа управления будет хотя бы один незадействованный в мониторинге беспилотный летательный аппарат, который способен выполнить детальный мониторинг состояния данной системы, в соответствии с выражениями (1) – (4).

Пусть ОУ использует различные БПЛА для мониторинга территориально-распределенного объекта, например, такие как ZALA 421-22, Phantom 3 Professional, Орлан-10, Груша, Inspector 101 и др. Стоимость каждого типа БПЛА составляет величину  $ct_i$ . Определим  $x_i$  как количество БПЛА i-го типа, тогда общая стоимость Ct всех используемых БПЛА будет равна

$$Ct = \sum_{i=1}^{nb} ct_i x_i. \tag{6}$$

В последнем соотношении  $nb$  – количество различных типов БПЛА.

Тогда задача оптимизации качества мониторинга территориально-распределенных объектов с помощью БПЛА может быть сформулирована следующим образом: определить такое количество БПЛА, чтобы было максимальным качество мониторинга территориально-распре-

деленного объекта, и при этом общая стоимость всех используемых БПЛА была ограничена, т.е. найти такие  $X = (x_1, x_2, \dots, x_{nb})$ , что

$$1 - \frac{1}{b!} \frac{d^b}{d\gamma^b} \prod_{j=1}^{to} (q_j + \gamma p_j) /_{\gamma=0} \rightarrow \max; \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{nb} ct_i x_i \leq C_0, \quad (8)$$

где  $C_0$  – ограничение на стоимость БПЛА.

Последняя задача может быть представлена в виде:

$$\frac{1}{b!} \frac{d^b}{d\gamma^b} \prod_{j=1}^{to} (q_j + \gamma p_j) /_{\gamma=0} \rightarrow \min; \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^{nb} ct_i x_i \leq C_0, \quad (10)$$

Задача, определяемая соотношениями (9), (10) относится к числу задач многомерного нелинейного программирования, для решения которой целесообразно использовать численные методы [9].

В случае, если для мониторинга территориально-распределенного объекта используются одинаковые БПЛА, то имеет место следующая задача.

Определить такое количество БПЛА, чтобы было максимальным качество мониторинга территориально-распре-

деленного объекта, и при этом общая стоимость всех используемых БПЛА была ограничена, т.е. найти такое  $b$ , что

$$C_{to}^b p^b (1-p)^{to-b} \rightarrow \min. \quad (11)$$

$$ctb \leq C_0, \quad (12)$$

где  $ct$  – стоимость одного БПЛА.

Задача, определяемая соотношениями (11), (12), относится к классу задач одномерного нелинейного программирования, решение которых не представляет сложностей и может быть получено с помощью численных методов [11].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье предложена модель оценки качества мониторинга территориально-распределенных объектов, проводимого с помощью БПЛА. Эта модель состоит в определении вероятности того, что в произвольный момент времени возникновения инцидента в одной из систем территориально-распределенного объекта у органа управления будет хотя бы один незадействованный в мониторинге беспилотный летательный аппарат, который способен выполнить детальный мониторинг состояния данной системы. Предложена модель оптимизации качества мониторинга территориально-распределенных объектов, проводимого с помощью БПЛА, в которой максимизируется показатель качества мониторинга территориально-распределенного объекта при ограничении на стоимость используемых для мониторинга БПЛА.

## Список использованных источников и литературы

1. Шевченко О.Ю., Боричевский А.Б. Использование беспилотных летательных аппаратов для ведения мониторинга использования территорий // Экономика и экология территориальных образований. № 3. 2015. С. 150–152.
2. Применение и развитие беспилотной авиации МЧС России // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://static.mchs.gov.ru/uploads/resource/03.09.2019/f195b575aeb8d28675e6a380c9fa16ff.pdf>
3. Беспилотные летательные аппараты МЧС России: виды и классификация // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fireman.club/statuyi-polzovateley/bespilotnyie-letatelnyie-apparatyi-v-mchs-rossii-vidyi-i-klassifikatsiya/>
4. Ломакин М.И., Тимофеев С.А. Модель оценки качества систем физической защиты критически важных объектов в условиях стоимостных ограничений // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2017. № 3 (37). С. 2.
5. Ломакин М.И., Ниязова Ю.М. Оценка качества дистанционно контролируемого объекта при неполных данных // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2020. № 5 (57). С. 88–92.
6. Ломакин М.И., Докукин А.В., Мошков В.Б., Олтян И.Ю., Ким С.М. Минимизация ущерба при ликвидации чрезвычайных ситуаций // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 4 (62). С. 21–25.
7. Каштанов В.А. Оптимальные задачи технического обслуживания. – М.: Знание, 1981.
8. Ломакин М.И., Докукина А.В., Ниязова Ю.М., Ким С.П. Оценка качества функционирования малых высокотехнологичных предприятий // Вестник МФЮА. 2022. № 1. С. 115–121.
9. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория вероятностей. Математическая статистика. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 296 с.
10. Седакин Н.М. Элементы теории случайных импульсных потоков. – М.: Сов. радио, 1965. – 263 с.
11. Рейзлин В.И. Численные методы оптимизации. – Томск: Изд-во НИТПИ, 2013. – 105 с.

# ASSESSMENT AND OPTIMIZATION OF MONITORING QUALITY GEOGRAPHICALLY DISTRIBUTED OBJECTS CONDUCTED WITH THE HELP OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

**Lomakin M.I.**, ScD (Technical Sc, Economic Sc.), All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Chief Specialist, FSBI «RST»

**Dokukin A.V.**, ScD (Economic Sc.), All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies

**Slanchak O.Yu.**, sci. sotr., All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies,

**Kim S.R.**, PhD student of the Russian Ministry of Foreign Affairs

**Safarova S.Yu.**, PhD student of the All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies

*The problem of assessing and optimizing the quality of monitoring of geographically distributed objects using unmanned aerial vehicles is considered. It is assumed that monitoring is carried out within the framework of the following scheme: full monitoring of a geographically distributed object is carried out using a spacecraft in orbit. In the event of a natural, technological or other incident at a geographically distributed facility, information about it is transmitted to the management body, which directs an unmanned aerial vehicle to the appropriate system in which the incident occurred. It carries out detailed monitoring and transmits information about the incident to the management body to develop solutions to eliminate the incident. An indicator of the quality of monitoring of a geographically distributed object is proposed as the probability that at any time an incident occurs in one of the systems of a geographically distributed object, the management body will have at least one unmanned aerial vehicle that is not used in monitoring, which is capable of performing detailed monitoring of the state of this system. The task of optimizing the quality of monitoring is formulated as the task of maximizing the proposed quality indicator while limiting the cost of unmanned aerial vehicles used.*

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, probability, cost, monitoring, quality, optimization.

## References

1. Shevchenko O.Yu., Borichevsky A.B. The use of unmanned aerial vehicles for monitoring the use of territories // Economics and ecology of territorial formations. No. 3. 2015. pp. 150–152.
2. Application and development of unmanned aviation of the Ministry of Emergency Situations of Russia // [Electronic resource]. – Access mode: <https://static.mchs.gov.ru/uploads/resource/03.09.2019/f195b575aeb8d28675e6a380c9fa16ff.pdf>
3. Unmanned aerial vehicles of the Ministry of Emergency Situations of Russia: types and classification // [Electronic resource]. – Access mode: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/bspilotnyie-letatelnyie-apparatyi-v-mchs-rossii-vidyi-i-klassifikatsiya/>
4. Lomakin M.I., Timofeev S.A. A model for assessing the quality of systems of physical protection of critical facilities under cost constraints // Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2017. No. 3 (37). P. 2.
5. Lomakin M.I., Niyazova Yu.M. Evaluation of the quality of a remotely controlled object with incomplete data // Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2020. No. 5 (57). Pp. 88–92.
6. Lomakin M.I., Dokukin A.V., Moshkov V.B., Oltyan I.Yu., Kim S.M. Minimization of damage during liquidation of emergency situations // Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2021. No. 4 (62). Pp. 21–25
7. Kashtanov V.A. Optimal maintenance tasks. – M.: Znanie, 1981.
8. Lomakin M.I., Dokukin A.V., Niyazova Yu.M., Kim S.R. Assessment of the quality of functioning of small high-tech enterprises // Bulletin of MFUA. 2022. No. 1. pp. 115–121.
9. Bocharov P.P., Pechinkin A.V. Theory of probabilities. Mathematical statistics. – 2nd ed. – M.: FIZMATLIT, 2005. – 296 p.
10. Sedyakin N.M. Elements of the theory of random impulse flows. – M.: Soviet Radio, 1965. – 263 p.
11. Reizlin V.I. Numerical optimization methods. Tomsk: Publishing House of NITPI, 2013. – 105 p.