

# ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ ВЗЯТИИ ПРОБЫ МОРСКОЙ ВОДЫ

Мамедов И.Э. \*, Шарифова Б.А. \*\*

*Национальное аэрокосмическое агентство Азербайджана,*

*НАКА, ул. Сулеймана Сани Ахундова, 1, корп. 2, 8-ой мкр., Баку, AZ1115, Азербайджанская Республика*

*\*e-mail: i.mamedov\_09@mail.ru*

*\*\*e-mail: sharifova\_b@yandex.ru*

Статья поступила в редакцию 17.05.2019

Рассматриваются вопросы применения беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для определения солености и электрической проводимости морской воды. Сформулирована задача формирования эмпирической модели БПЛА в режиме взятия проб воды. Предложен эвристический алгоритм создания эмпирической модели БПЛА, используемого для исследования качества воды. Предложена эмпирическая модель БПЛА в режиме сбора проб для проведения анализа проб. Косвенная валидация созданной эмпирической модели показала хорошее совпадение характера экспериментальных зависимостей и модельных зависимостей, полученных на базе эвристического алгоритма функционирования БПЛА в режиме исследования качества воды.

*Ключевые слова:* электропроводимость, БПЛА, морская вода, эмпирическая модель, эвристический алгоритм.

## Введение

Основными факторами, влияющими на безопасность водных ресурсов, являются промышленные отходы и сельскохозяйственные удобрения [1]. Загрязнения водных ресурсов могут быть точечными (выбросы промышленных предприятий, дренажные каналы и др.) и неточечными (влияние дождей, наводнения и др.) [2]. Дренажные воды при поступлении в водоемы могут вызвать цветение водорослей, что, в свою очередь, резко уменьшает количество растворенного кислорода в воде, генерирует опасные токсины [3, 4]. Для контроля и обнаружения вредных изменений в водоемах необходимо периодически брать пробы воды и проводить лабораторный анализ. Для этого используются автоматические устройства мониторинга [5, 6], а также методы дистанционного зондирования [7, 8]. Вместе с тем до сих пор традиционные методы взятия пробы и проведения лабораторного анализа преобладают над методами дистанционного зондирования [9]. Однако традиционные методы оказываются недостаточными для детального исследования закономерностей загрязнения водных ресурсов, и необходимо интегрирование традиционных методов с методами дистанционного зондирования [9]. Для взятия проб воды разработаны подводные автономные

устройства [10, 11]. Однако основной их недостаток — невозможность точного определения их местонахождения, так как GPS под водой работает неточно. Также известны надводные средства взятия проб воды. Однако их длительное использование приводит к загрязнению сенсоров и уменьшает достоверность получаемых данных. Разработка технологии использования БПЛА открывает новые возможности в сборе проб воды в недоступных местах [12, 13]. Вопросы моделирования функционирования БПЛА и их навигационного обеспечения рассмотрены в [14, 15]. Как отмечается в работе [16], существующие программы оценки качества воды различных водоемов требуют привлечения к выполняемым работам большого количества персонала для оперативного проведения измерений. Данная проблема в настоящее время может быть устранена путем использования БПЛА, оснащенных соответствующими сенсорами.

Как отмечается в работе [17], актуальность исследования солености или электрической проводимости вод заболоченной местности обусловлена наличием в них особо вредных микроорганизмов типа *Cicindela nevadica lincolniiana*, называемых тигровыми жучками соленых водоемов. Использование БПЛА в данных целях позволяет

повысить пространственно-временное разрешение результатов проводимых исследований. Датчики электрической проводимости при соответствующем управлении высотой полета БПЛА вводятся в воды и удаляются после замеров проводимости. При этом дополнительно используются термальные сенсоры, установленные на другом БПЛА, летавшем на 10–30 м выше, чем первый аппарат. Температурная разведка осуществляется с целью обнаружения подводных течений поступающей извне воды, температура и соленость которой значительно отличаются от температуры и солености основной водной массы (рис. 1).

Согласно работе [18], для исследования качества воды, в частности измерения таких показателей, как температура, электрическая проводимость, растворенный кислород, рН воды, был использован гектокоптер, осуществивший измерения в тринадцати различных точках водоема. Погрешность измерений не превышала 1–4%.

Проведенные экспериментальные исследования показали наличие достаточно сильной корреляции между электрической проводимостью и температурой воды (рис. 2, а и б соответственно).

В работе [16] сообщается о возможности работы БПЛА в автоматическом режиме взятия проб воды. Схематическая диаграмма реализации такого режима показана на рис. 3.

### Постановка задачи

В работах [16, 19] приведены результаты экспериментальных исследований БПЛА, осуществляющего взятие пробы воды для определения показателей ее качества. На рис. 4 приведены кривые зависимости подъемной силы и времени нормального функционирования от уровня дросселирования в процентах.

На рис. 5 приведены графики зависимости отношения подъемная сила / вес и нормального времени работы от емкости электрического аккумулятора [16].

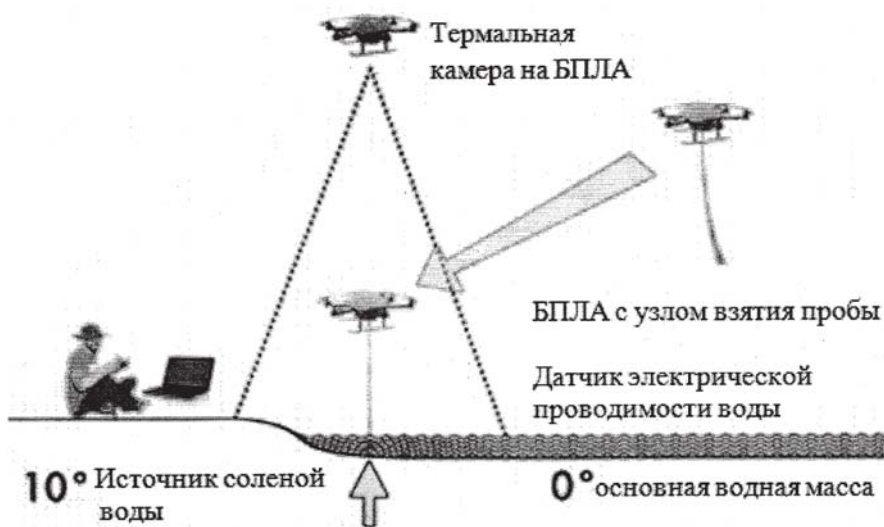


Рис. 1. Схематическое изображение проводимых измерений солености, электрической проводимости воды и температуры водных течений с помощью датчика солености и термального дистанционного сенсора [2]

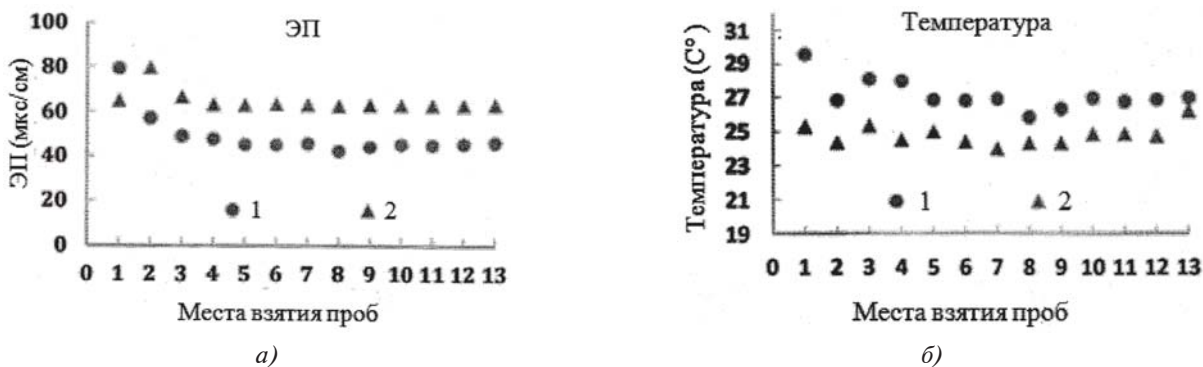


Рис. 2. Графическое представление результатов измерений электрической проводимости и температуры воды с помощью датчиков, установленных на квадрокоптере [18]: 1 – результаты, полученные с помощью специализированного мультиизмерителя; 2 – результаты, полученные с помощью стандартного измерителя

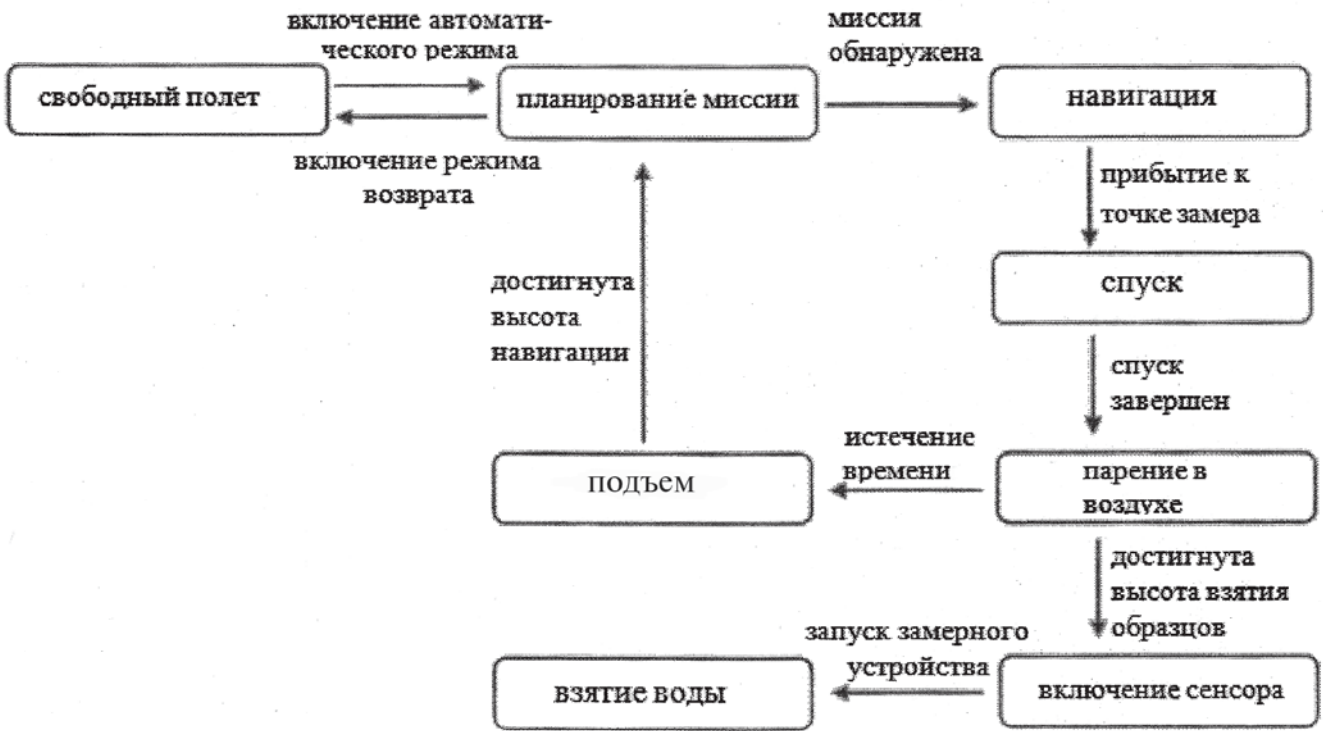


Рис. 3. Схематическая диаграмма реализации режима работы взятия проб с помощью БПЛА

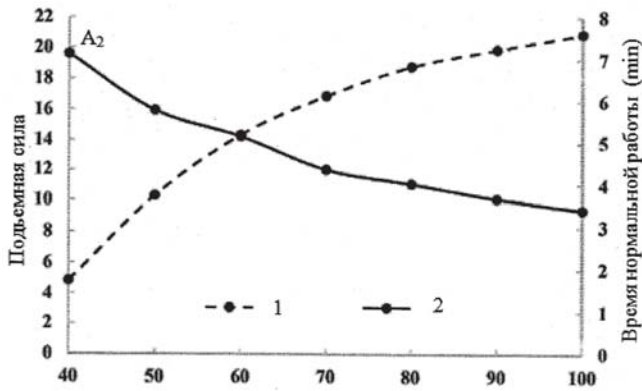


Рис. 4. Кривые зависимости подъемной силы и времени нормального функционирования от степени дросселирования в процентах: 1 – подъемная сила, N; 2 – время нормальной работы [16]

Как отмечается в работе [19], при весе пустого БПЛА, равном 4,3 кг, подъемная сила, обеспечиваемая электрическим аккумулятором емкостью 8000 мА·ч, достигала 64N. Отношение подъемной силы к весу достигало 2,5. Подъемная сила 127 N обеспечивалась при времени нормального функционирования 8,7 мин. При увеличении степени дросселирования до 60% подъемная сила увеличивалась до 129 N, а время нормального функционирования уменьшалось до 7,3 мин.

Целью настоящего исследования является разработка эмпирической модели БПЛА, используемых для исследования качества воды водоемов.

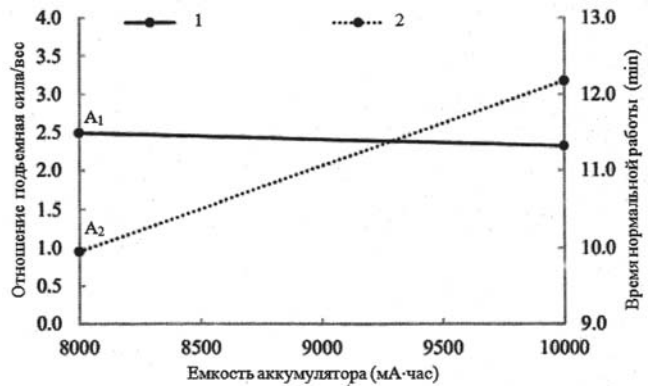


Рис. 5. Графики зависимости отношения подъемная сила / вес и нормального времени работы от емкости электрического аккумулятора: 1 – подъемная сила, N; 2 – время нормальной работы [19]

### Решение задачи

В общем случае, эмпирическая модель является разновидностью моделей, основу которой составляют результаты анализа некоторого объема данных (информации), полученных в результате эксперимента или измерений. Результатом работ по созданию эмпирической модели являются новые формулы, уравнения, описывающие связь между рассматриваемыми величинами [20]. Согласно работе [21], в настоящее время выделено два направления в задачах моделирования процессов:

1. Развитие методов машинного поиска скрытых закономерностей баз данных и знаний.

2. Разработка специальных эвристических процедур контроля исходных предположений. В настоящей статье мы проведем исследования в соответствии со вторым направлением, используя эвристическую процедуру сопоставления значений искомого показателя, вычисленных по различным представлениям в виде одних графических данных, и проверку полученного результата с другими графическими данными.

Алгоритм предлагаемой эвристической процедуры представлен в виде блок-схемы на рис. 6.

Рассмотрим конкретные вопросы реализации предлагаемого эвристического алгоритма создания эмпирической модели. Для дальнейших математических выкладок примем следующие буквенные обозначения:

$T$  — подъемная сила;

$P_1$  — вес дрона с аккумулятором;

$P_2$  — вес дрона без аккумулятора;

$P_3$  — вес аккумулятора;

$B$  — емкость аккумулятора;

$Z$  — степень дросселирования;

$E$  — время нормального функционирования.

Считаем, что вес пробы воды намного меньше, чем  $\min(P_2, P_3)$ . В соответствии с вышеуказанным алгоритмом, в качестве искомого показателя выберем  $P_3$ .

Примем следующее предположение:

$$B = k_1 \cdot P_3. \quad (1)$$

Выражение (1) означает, что между емкостью аккумулятора и его весом имеется прямая линейно-пропорциональная связь:

$$P_1 = P_2 + P_3. \quad (2)$$

Выражение (1) означает, что вес пробы ничтожен и не учитывается.

С учетом первичных графических представлений, показанных на рис. 5, можем записать:

$$\frac{T}{P_2 + P_3} = A_1 - C_1 B = A_1 - C_1 k_1 P_3. \quad (3)$$

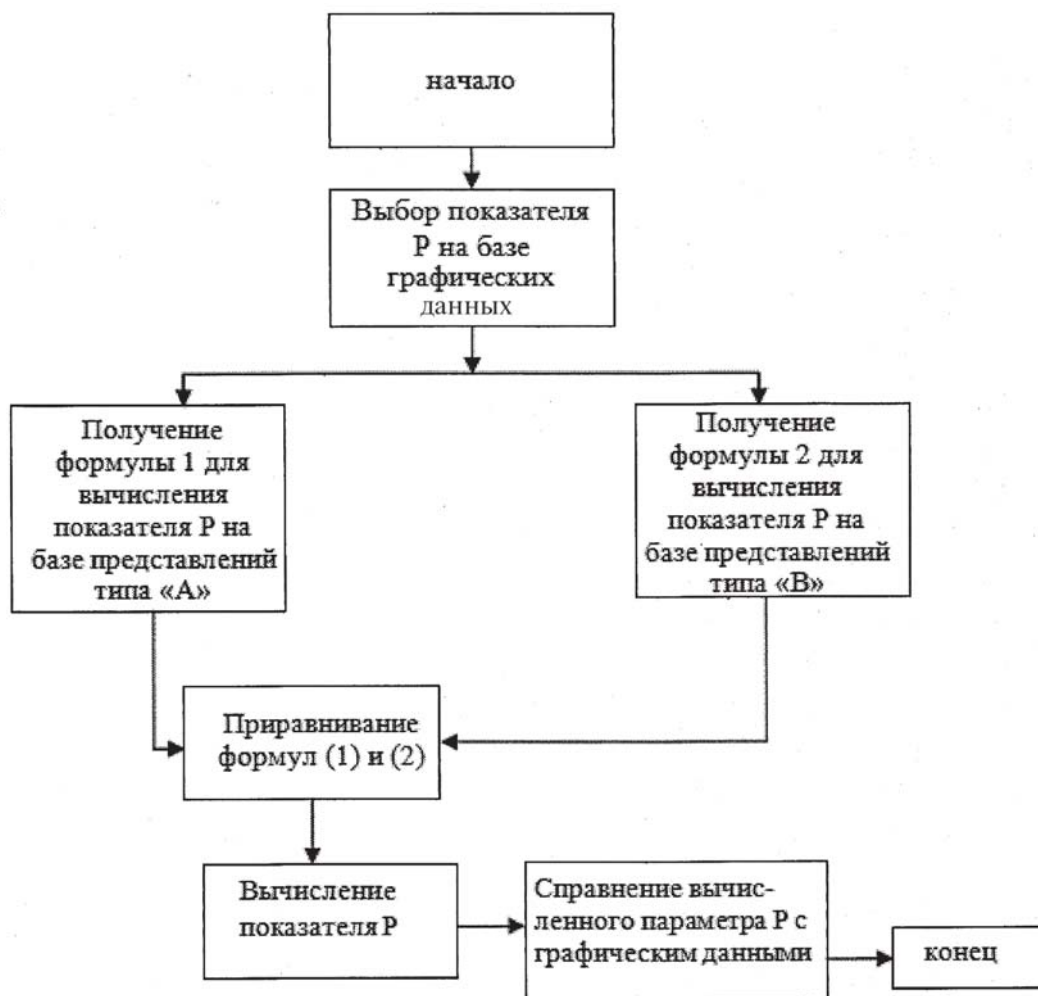


Рис. 6. Блок-схема эвристического алгоритма создания эмпирической модели БПЛА, используемой для исследования качества воды

Выражение (3) может быть преобразовано в квадратное уравнение

$$P_3^2 + \frac{(C_1 k_1 P_2 - A_1)}{C_1 k_1} P_3 + \frac{T - A_1 P_2}{C_1 k_1} = 0. \quad (4)$$

Решение (4) имеет вид

$$P_3 = -\left(\frac{C_1 k_1 P_2 - A_1}{2C_1 k_1}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{C_1 k_1 P_2 - A_1}{2C_1 k_1}\right)^2 + \frac{A_1 P_2 - T}{C_1 k_1}}. \quad (5)$$

Далее, на основе вторичных графических представлений, показанных на рис. 4, запишем

$$E = A_2 \cdot e^{-k_2 Z}. \quad (6)$$

Вместе с тем из графиков, представленных на рис. 5, имеем

$$E = k_2 k_1 \cdot P_3 \cdot A_3. \quad (7)$$

Из выражений (6) и (7) находим

$$P_3 = \frac{A_2 \cdot e^{-k_2 Z} - A_3}{k_3 k_1}. \quad (8)$$

С учетом полученных выражений (5) и (8) для вычисления  $P_3$  окончательно получим

$$\begin{aligned} \frac{A_2 \cdot e^{-k_2 Z} - A_3}{k_3 k_1} + \frac{C_1 k_1 P_2 - A_1}{2C_1 k_1} &= \\ = \sqrt{\left(\frac{C_1 k_1 P_2 - A_1}{2C_1 k_1}\right)^2 + \frac{A_1 P_2 - T}{C_1 k_1}}. \end{aligned} \quad (9)$$

Выражение (9) является эмпирической моделью функционирования БПЛА в режиме исследования качества воды путем взятия проб.

### Обсуждение результатов

Таким образом, эмпирическая модель БПЛА, функционирующего в режиме взятия проб (9), является выражением, объединяющим такие показатели полета БПЛА, как  $Z$ ,  $P_2$ ,  $T$ .

Достоверность этой модели может быть проверена косвенным образом, путем анализа взаимосвязи показателей  $T$  и  $P_2$ . Как видно из модели (9), рост  $T$  при постоянстве  $P_2$  должен сопровождаться ростом  $Z$ . Этом результат подтверждается на практике соответствующим графиком, представленным на рис. 4. Дополнительное под-

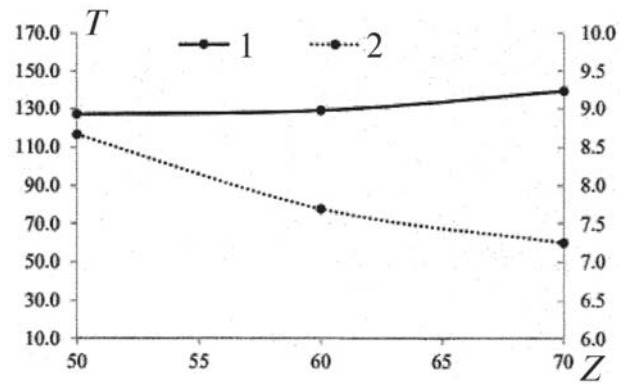


Рис. 7. Графики зависимости подъемной силы и времени нормальной работы от степени дросселирования: 1 — подъемная сила; 2 — время нормальной работы

тверждение тому — соответствующий график, показанный на рис. 7.

Как видно из графика, представленного на рис. 7, подъемная сила является растущей функцией уровня дросселирования. Указанная закономерность также наблюдается на эмпирической модели (9).

### Выводы

Приведен краткий обзор существующих работ по использованию БПЛА для анализа качества воды водоемов.

Сформулирована задача формирования эмпирической модели БПЛА в режиме взятия проб воды.

Предложен эвристический алгоритм создания эмпирической модели БПЛА, используемого для исследования качества воды.

Предложена эмпирическая модель БПЛА в режиме сбора проб для проведения анализа проб.

Косвенная валидация созданной эмпирической модели показала хорошее совпадение характера экспериментальных зависимостей и модельных зависимостей, полученных на базе эвристического алгоритма БПЛА в режиме исследования качества воды.

### Библиографический список

- Xu Z., Dong Q., Otieno B., Liu Y., Williams I., Cai D., Li Y., Lei Y., Li B. Real-time in situ sensing of multiple water quality related parameters using micro-electrode array fabricated by inkjet-printing technology (IPT) // Sensors and Actuators B: Chemical. 2016. Vol. 237, pp. 1108–1119. DOI: 10.1016/j.snb.2016.09.040
- Liu R., Xu F., Zhang P., Yu W., Men C. Identifying non-point source critical source areas based on multi-factors at a basin scale with SWAT // Journal of Hydrology. 2016. Vol. 533, pp. 379–388. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.12.024

3. *Sivanpillai R.* (ed.) *Biological and Environmental Hazards, Risks, and Disasters*. — Academic Press: Boston, MA, USA, 2016. Chapter 2, pp. 5–43.
4. *Gupta C.* *Toxicology of Chemical Warfare Agents: Handbook*. — 2nd edition. — Academic Press: Boston, MA, USA, 2015. Chapter 31, pp. 421–429.
5. *Winkelbauer A., Fuiko R., Krampe J., Winkler S.* Crucial elements and technical implementation of intelligent monitoring networks // *Water Science & Technology*. 2014. Vol. 70. No. 12, pp. 1926–1933. DOI: 10.2166/wst.2014.415
6. *Winkler S., Zessner M., Saracevic E., Fleischmann N.* Intelligent monitoring networks — Transformation of data into information for water management // *Water Science & Technology*. 2008. Vol. 58. No. 2, pp. 317–322. DOI: 10.2166/wst.2008.672
7. *Tyler A.N., Hunter P.D., Carvalho L., Codd G.A., Elliott J.A., Ferguson C.A., Hanley N.D., Hopkins D.W., Maberly S.C., Mearns K.J.* et al. Strategies for monitoring and managing mass populations of toxic cyanobacteria in recreational waters: A multi-interdisciplinary approach // *Joint Environment and Human Health Programme: Annual Science Day Conference and Workshop*. 2009. Vol. 8. Supplement 1. DOI: 10.1186/1476-069X-8-S1-S11
8. *Schaeffer B.A., Schaeffer K.G., Keith D., Lunetta R.S., Conmy R., Gould R.W.* Barriers to adopting satellite remote sensing for water quality management // *International Journal of Remote Sensing*. 2013. Vol. 34. No. 21, pp. 7534–7544. DOI: 10.1080/01431161.2013.823524
9. *Gholizadeh M.H., Melesse A.M., Reddi L.* A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques // *Sensors*. 2016. Vol. 16. No. 8, p. 1298. DOI: 10.3390/s16081298
10. *Blaas H., Kroeze C.* Excessive nitrogen and phosphorus in European rivers: 2000–2050 // *Ecological Indicators*. 2016. Vol. 67, pp. 328–337. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.03.004
11. *Karimanzira D., Jacobi M., Pfuetzenreuter T., Rauschenbach T., Eichhorn M., Taubert R., Ament C.* First testing of an AUV mission planning and guidance system for water quality monitoring and fish behavior observation in net cage fish farming // *Information Processing in Agriculture*. 2014. Vol. 1. No. 2, pp. 131–140. DOI: 10.1016/j.inpa.2014.12.001
12. *Koparan C.* Unmanned aerial vehicle (UAV) — assisted water sampling. — A Thesis Presented to the Graduate School of Clemson University In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science Plant and Environmental Sciences by, 2016.
13. *Koparan C.* Unmanned aerial vehicle (UAV) — assisted water sampling. — Annual International Meeting, ASABE, St. Joseph, MI, USA, 2016.
14. *Матвеев А.В., Бобронников В.Т.* Методика проектирования систем управления летательных аппаратов с использованием среды программирования MATLAB/Simulink // *Вестник Московского авиационного института*. 2009. Т. 16. № 4. С. 53–61.
15. *Павлова Н.В., Лунев Е.М.* Программно-алгоритмическое обеспечение для определения навигационных параметров беспилотного летательного аппарата на базе фотоизображения // *Вестник Московского авиационного института*. 2009. Т. 16. № 6. С. 111–119.
16. *Koparan C., Koc A.B., Privette C.V., Sawyer C.B., Sharp J.L.* Evaluation of a UAV – Assisted Autonomous water sampling // *Water*. 2018. Vol. 10. No. 5, p. 655. DOI: 10.3390/w10050655
17. *Ore J.-P., Burgin A., Schoepfer V., Detweiler C.* Towards monitoring saline wetlands with micro UAVs. URL: [http://cse.unl.edu/~jore/pdf/Towards\\_Monitoring\\_Saline\\_Wetlands\\_with\\_Micro\\_UAVs.pdf](http://cse.unl.edu/~jore/pdf/Towards_Monitoring_Saline_Wetlands_with_Micro_UAVs.pdf)
18. *Koparan C., Koc A.B., Privette C.V., Sawyer C.B.* In situ water quality measurements using an unmanned aerial vehicle (UAV) system // *Water*. 2018. Vol. 10. No. 3, p. 264. DOI: 10.3390/w10030264
19. *Koparan C., Koc A.B., Privette C.V., Sawyer C.B.* Autonomous in situ measurements of noncontaminant water quality indicators and sample collection with a UAV // *Water*. 2019. Vol. 11. No. 3, p. 604. DOI: 10.3390/w11030604
20. Эмпирическая модель, [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BC%D0%BF%D0%B8%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BC%D0%BF%D0%B8%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C)
21. *Оскорбин Н.М., Суханов С.И.* Теоретические и эмпирические модели процессов и их приложения // *Известия Алтайского государственного университета*. 2017. № 1(93). С. 110–114. DOI: 10.14258/izvasu(2017)1-21

## UAV FUNCTIONING MODE OPTIMIZATION WHILE SEAWATER SAMPLING

Mamedov I.E.\* , Sharifova B.A.\*\*

National Aerospace Agency of Azerbaijan,

NAKA, 1, bldg. 2, Suleiman Sani Akhundov str., 8th MD., Baku, AZ1115, Azerbaijan Republic

\* e-mail: i.mamedov\_09@mail.ru

\*\* e-mail: sharifova\_b@yandex.ru

**Abstract**

Water is a necessary factor for the humankind survival. For this reason, the quality of water resources should be protected. Thus, it is necessary to organize permanent monitoring of water resources. Industrial and agricultural wastes are the main sources representing danger for water basins. Water quality of rivers and lakes may be evaluated by monitoring such indices as quantity of dissolved oxygen, pH., temperature, and electric conductance. Low concentration of oxygen dissolved in the water, undesirable temperature and abnormal salt content lead to water quality degradation. The article is dedicated to the issues of UAV application for the seawater salinity and conductance determining. The UAV application for this purpose allows increasing space-time resolution of the results of the studies being performed. The task of forming the UAV empirical model in water sampling mode was formulated. Electric conductance sensors while corresponding UAV flight altitude control are being immersed into the water and taken out after conduction measuring. Thermal sensors are applied herewith, installed on the other UAV flying 30–40 meters higher than the first one. Temperature survey is performed to reveal undercurrents of the incoming external water, which temperature and salinity differ greatly from those of the basic water body. The studies employing heuristic procedure of collating the values of the searched indicator, computed by different representations in the form of one graphics data, and checking the obtained results by the data represented by the other graphics data were performed. The article suggests an empirical model of the UAV, employed for the water quality studying. The empirical model of the UAV in the mode of sampling for the samples analysis is presented as well. Specific issues of realizing the suggested empirical algorithm for the empirical model development were considered. Indirect validation of the developed empirical model demonstrated close agreement of experimental and modelled dependencies character obtained based on heuristic algorithm of the UAV functioning in the water quality studying mode.

**Keywords:** electric conductance, UAV, seawater, empirical model, heuristic algorithm.

**References**

1. Xu Z., Dong Q., Otieno B., Liu Y., Williams I., Cai D., Li Y., Lei Y., Li B. Real-time *in situ* sensing of multiple water quality related parameters using micro-electrode array fabricated by inkjet-printing technology (IPT). *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2016, vol. 237, pp. 1108–1119. DOI: 10.1016/j.snb.2016.09.040
2. Liu R., Xu F., Zhang P., Yu W., Men C. Identifying non-point source critical source areas based on multi-factors at a basin scale with SWAT. *Journal of Hydrology*, 2016, vol. 533, pp. 379–388. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.12.024
3. Sivanpillai R. (ed.) *Biological and Environmental Hazards, Risks, and Disasters*. Academic Press: Boston, MA, USA, 2016. Chapter 2, pp. 5–43.
4. Gupta C. *Toxicology of Chemical Warfare Agents: Handbook*. 2nd edition. Academic Press: Boston, MA, USA, 2015. Chapter 31, pp. 421–429.
5. Winkelbauer A., Fuiko R., Krampe J., Winkler S. Crucial elements and technical implementation of intelligent monitoring networks. *Water Science & Technology*, 2014, vol. 70, no. 12, pp. 1926–1933. DOI: 10.2166/wst.2014.415
6. Winkler S., Zessner M., Saracevic E., Fleischmann N. Intelligent monitoring networks —Transformation of data into information for water management. *Water Science & Technology*, 2008, vol. 58, no. 2, pp. 317–322. DOI: 10.2166/wst.2008.672
7. Tyler A.N., Hunter P.D., Carvalho L., Codd G.A., Elliott J.A., Ferguson C.A., Hanley N.D., Hopkins D.W., Maberly S.C., Mearns K.J. et al. Strategies for monitoring and managing mass populations of toxic cyanobacteria in recreational waters: A multi-interdisciplinary approach. *Joint Environment and Human Health Programme: Annual Science Day Conference and Workshop*, 2009, vol. 8, supplement 1. DOI: 10.1186/1476-069X-8-S1-S11
8. Schaeffer B.A., Schaeffer K.G., Keith D., Lunetta R.S., Conmy R., Gould R.W. Barriers to adopting satellite remote sensing for water quality management. *International Journal of Remote Sensing*, 2013, vol. 34, no. 21, pp. 7534–7544. DOI: 10.1080/01431161.2013.823524
9. Gholizadeh M.H., Melesse A.M., Reddi L. A comprehensive review on water quality parameters

- estimation using remote sensing techniques. *Sensors*, 2016, vol. 16, no. 8, p. 1298. DOI: 10.3390/s16081298
10. Blaas H., Kroeze C. Excessive nitrogen and phosphorus in European rivers: 2000–2050. *Ecological Indicators*, 2016, vol. 67, pp. 328–337. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.03.004
  11. Karimanzira D., Jacobi M., Pfuetzenreuter T., Rauschenbach T., Eichhorn M., Taubert R., Ament C. First testing of an AUV mission planning and guidance system for water quality monitoring and fish behavior observation in net cage fish farming. *Information Processing in Agriculture*, 2014, vol. 1, no. 2, pp. 131–140. DOI: 10.1016/j.inpa.2014.12.001
  12. Koparan C. *Unmanned aerial vehicle (UAV) - assisted water sampling*. A Thesis Presented to the Graduate School of Clemson University In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science Plant and Environmental Sciences by, 2016.
  13. Koparan C. *Unmanned aerial vehicle (UAV) - assisted water sampling*. Annual International Meeting, ASABE, St. Joseph, MI, USA, 2016.
  14. Matveyev A.V., Bobronnikov V.T. A technique for aircraft control system design using MATLAB/Simulink software. *Aerospace MAI Journal*, 2009, vol. 16, no. 4, pp. 53–61.
  15. Pavlova N.V., Lunev E.M. Software and algorithmic maintenance for definition of navigation parameters of the unmanned aerial vehicle on the basis of photographic image. *Aerospace MAI Journal*, 2009, vol. 16, no. 6, pp. 111–119.
  16. Koparan C., Koc A.B., Privette C.V., Sawyer C.B., Sharp J.L. Evaluation of a UAV – Assisted Autonomous water sampling. *Water*, 2018, vol. 10, no. 5, p. 655. DOI: 10.3390/w10050655
  17. Ore J.-P., Burgin A., Schoepfer V., Detweiler C. *Towards monitoring saline wetlands with micro UAVs*. URL: [http://cse.unl.edu/~jore/pdf/Towards\\_Monitoring\\_Saline\\_Wetlands\\_with\\_Micro\\_UAVs.pdf](http://cse.unl.edu/~jore/pdf/Towards_Monitoring_Saline_Wetlands_with_Micro_UAVs.pdf)
  18. Koparan C., Koc A.B., Privette C.V., Sawyer C.B. *In situ* water quality measurements using an unmanned aerial vehicle (UAV) system. *Water*, 2018, vol. 10, no. 3, p. 264. DOI: 10.3390/w10030264
  19. Koparan C., Koc A.B., Privette C.V., Sawyer C.B. Autonomous in situ measurements of noncontaminant water quality indicators and sample collection with a UAV. *Water*, 2019, vol. 11, no. 3, p. 604. DOI: 10.3390/w11030604
  20. *Empiricheskaya model'*, [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BC%D0%BF%D0%B8%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BC%D0%BF%D0%B8%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C)
  21. Oskorbin N.M., Sukhanov S.I. *Izvestiya Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, no. 1(93), pp. 110–114. DOI: 10.14258/izvasu(2017)1-21