

Применение беспилотных летательных аппаратов для обследования мелиоративных гидротехнических сооружений

Мухаммет Азатович Разаков

НИУ «Московский энергетический институт»; НИУ «Московский государственный строительный университет», Московский государственный университет пищевых производств, г. Москва, Россия
e-mail: muhammet@nlm.ru

Аннотация. В работе рассматривается применение беспилотных летательных аппаратов для инженерных изысканий и иных мероприятий на различных типах гидротехнических сооружений. Выделены особенности совместного использования беспилотных летательных аппаратов и надводно-подводных комплексов для обследования гидроэлектростанций и плотин. Описаны различные виды трещин, которые могут возникнуть на гребне ГЭС из-за различных факторов. Определены современные направления развития беспилотных летательных аппаратов для обследования характера трещин на гидротехнических сооружениях. Представлены возможности применения БПЛА для обследования мелиоративных и оросительных насосных станций, а также иных элементов данного типа сооружений.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты; гидротехнические сооружения; насосные станции; мелиорация; орошение.

Для цитирования: Разаков М. А. Применение беспилотных летательных аппаратов для обследования мелиоративных гидротехнических сооружений // Аграрный научный журнал. 2022. № 8. С. 98–102. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i8pp98-102>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Application of unmanned aircraft in meliorative hydraulic structures

Muhammet A. Razakov

Moscow Power Engineering Institute; Moscow State University of Civil Engineering, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia.

Abstract. It has been discussed the use of unmanned aerial vehicles for engineering surveys and other activities at various types of hydraulic structures. Author has highlighted the use of unmanned aircraft and surface-underwater cooperative complexes for the inspection of hydroelectric power plants and dams. There are various types of cracks in hydroelectric power plants which has described in this paper. It has been determined the current trends in the development of unmanned aerial vehicles for examining the nature of cracks in hydraulic structures. There are the possibilities for inspection with unmanned aerial vehicles of reclamation and irrigation pumping stations and other elements of their structures.

Keywords: unmanned aerial vehicles; hydraulic structures; pumping stations; reclamation; irrigation.

For citation: Razakov M.A. Application of unmanned aircraft in meliorative hydraulic structures // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(7):98–102. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i8pp98-102>.

Введение. Гидротехнические сооружения (ГТС) в Российской Федерации занимают одну из главных позиций в обеспечении комфортного проживания людей. Помимо ГТС входящих в состав жилищно-коммунального комплекса населенного пункта, существуют и сооружения, которые обеспечивают технологический процесс горнопромышленных и энергетических предприятий или имеют водопропускное, а также мелиоративное назначение. Согласно данным СП 58.13330.2012, И.С. Пандула, А.И. Калашника и ряда других ученых, к гидротехническим сооружениям относят следующие типы зданий, сооружений и конструкций: дамбы; плотины; дюкеры; полузапруды; льдозащитные стенки; ограждающие валы; польдеры; водохранилища; водосбросные и водозаборные конструкции; рыбоходы; порты; пристани; доки; гидроэлектростанции; гидроаккумулирующие электростанции; комплексы мелиоративных и осушительных систем; шлюзы; рыбоподъемники; шламохранилища (в том числе пульпопроводы и хвостохранилища); насосные станции различного назначения; сооружения водоподготовки; комплекс зданий и сооружений очистки сточных вод [1–3].

Целью данной работы является обзор применения геоинформационных систем для гидротехнического строительства, а также обзор проблем, возникающих при исследовании текущего состояния конструктивных элементов.

Методика исследований. Для анализа применения беспилотных летательных аппаратов в гидротехническом строительстве в данной работе проанализированы работы ученых из ведущих мировых и российских наукометрических баз данных (РИНЦ; Scopus; Web of Science и Agris), а также российских научных издательств (Наука; Стройиздат, АСВ).

Результаты исследований. Для текущего контроля состояния гидротехнических сооружений различного назначения применяются разнообразные виды приборов и устройств мониторинга [3–7]. Наиболее распро-





страненными системами для инженерно-геодезических изысканий являются аэрокосмические (спутниковые) системы и малые беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [8]. Основными показателями, которые влияют на функционирование ГТС, являются: горизонтальные смещения и образование трещин. Применение спутниковых технологий ограничиваются из-за их высокой стоимости и погрешности, а также большого износа уже имеющегося оборудования. БПЛА являются альтернативным и относительно малозатратным способом исследования основных геодезических параметров и средств контроля за состоянием сооружений. К дополнительной и преимущественной особенности беспилотного летательного аппарата можно отнести его использование для обследования трещин при соответствующем оснащении оборудованием. Обследование гидротехнических сооружений на наличие трещин является одним из самых важных мероприятий контроля за состоянием сооружения так как трещины могут привести к полному разрушению сооружения. Стоит отметить, что с помощью космических (спутниковых) систем, возможно контролирование большой площади территории, но аэрофотосъемка с земной поверхности, все равно, остается одним из ключевых видов получения разнородных данных. Капитальные и эксплуатационные вложения в спутниковые системы во много раз превосходят капитальные вложения в проведение аэрофотосъемки. Основными преимуществами аэрофотосъемки в сравнении с другими системами мониторинга являются их более высокая точность и мобильность [9]. Несмотря на то, что спутниковые системы имеют большую площадь покрываемости, при обследовании гидротехнических сооружений это преимущество нивелируется, так как расположение различных ГТС на территории страны может быть не сосредоточенным. На рис. 1, 2 изображены внешний вид и разновидности развития трещин в бетоне [10, 11].



Рис. 1. Микро- и макроветвления трещины под микроскопом с увеличением $\times 70$

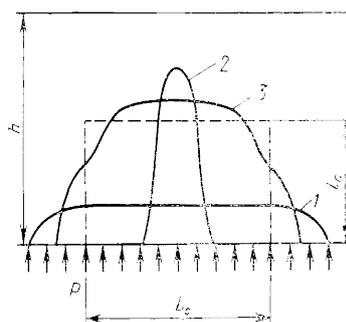


Рис. 2. Состояние трещины для пластины: 1 – устойчивая трещина; 2 – неустойчивая трещина, переходящая в сквозную устойчивую; 3 – абсолютно неустойчивая трещина

Появление трещин на ГТС возможно от разных обстоятельств. Это могут быть климатические факторы, халатность рабочего персонала, неправильное регулирование работы сооружения. При обследовании целостности плотин, дамб, гидроэлектростанций (ГЭС), гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) и некоторых типов мелиоративных насосных станций существуют некоторые особенности. Например, из-за различных омывающих, гребень плотины, сред (вода и воздух) необходимо оборудование для обследования в различных условиях. На рис. 3 представлена принципиальная схема гравитационной плотины на мягком грунте [1].

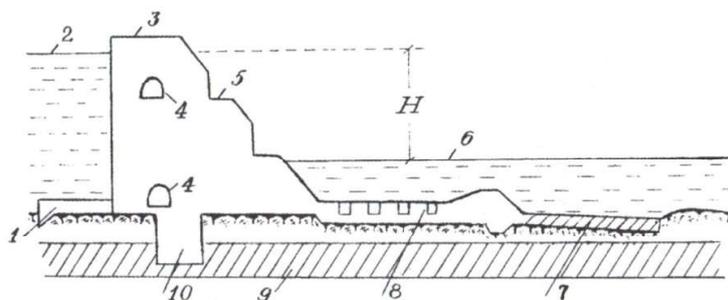


Рис. 3. Гравитационная плотина на мягком грунте: 1 – понур; 2 – верхний бьеф; 3 – гребень плотины; 4 – потерна; 5 – берма; 6 – нижний бьеф; 7 – рисберма; 8 – водобой; 9 – водонепроницаемый грунт; 10 – замок для водонепроницаемого слоя грунта

Для обследования трещин в такого рода сооружениях необходим комплексный аппарат имеющий функции как беспилотного летательного так и подводного аппаратов. Созданием такого рода устройства на данный момент занимаются ученые из Московского авиационного института (НИУ МАИ) К.А. Коваленко, И.Д. Бородин,



А.Ю. Беляков [12, 13]. Несмотря на то, что изначально они предполагали его использование для других целей при соответствующем дополнении необходимым оборудованием, его можно применять и для обследования и ГТС. Несомненно, существуют проблемы с устойчивостью движения аппаратов в связи с турбулентными течениями воздуха и воды, но при дальнейшей более глубокой проработке системы стабилизации, данная проблема тоже будет решена [14-15]. Данный тип БПЛА нельзя относить только к летательным аппаратам, скорее он относится к комплексным устройствам.

При исследовании работ, касающихся применения малых летательных аппаратов, было обнаружено, что направление «Исследование мелиоративных сооружений с помощью БПЛА» не детально изучено. В основном многие работы освещают применение БПЛА для мониторинга сельскохозяйственных угодий, т.е. мониторинг непосредственно у абонента [4, 6, 16–18]. Но в комплекс мелиоративных сооружений входят и такие объекты как насосные станции (НС), трубопроводы, камеры переключения. На рис. 4 приведены возможные принципиальные схемы крупного сельскохозяйственного водоснабжения [19]. Данная схема используется для обслуживания больших площадей посевов сельскохозяйственных культур.

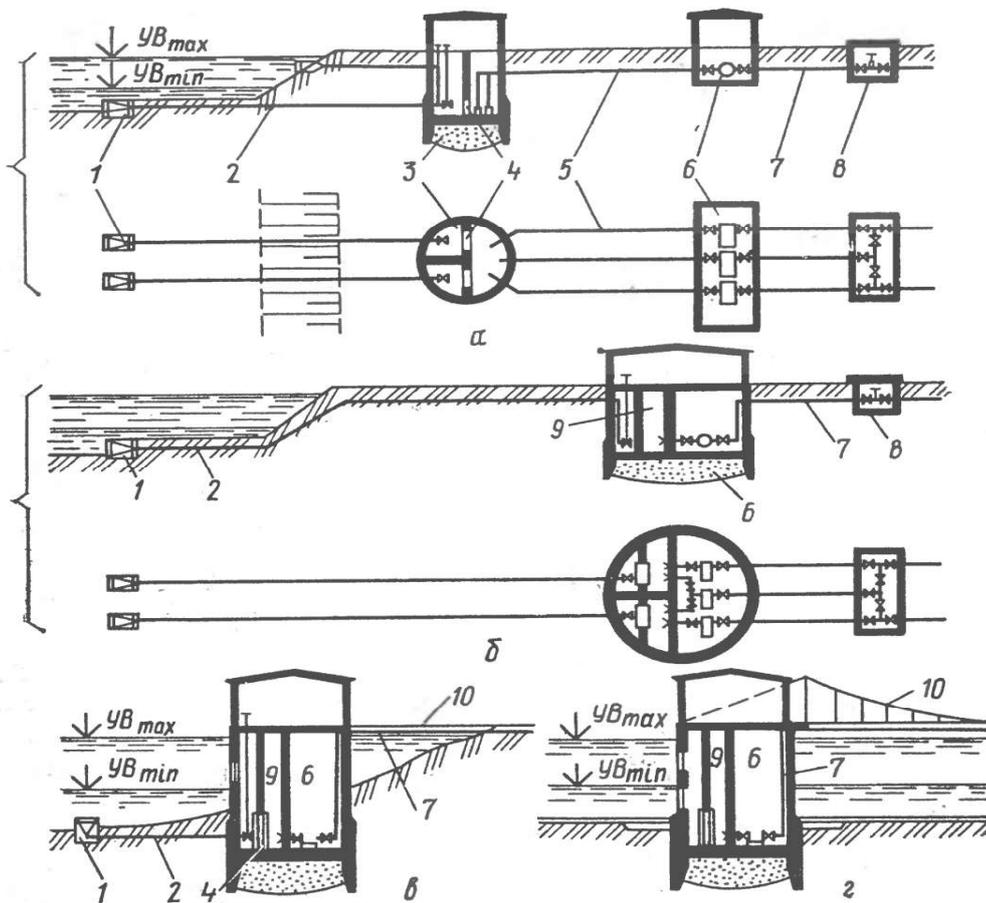


Рис. 4. Схемы насосных станций сельскохозяйственного водоснабжения (в т.ч. систем мелиорации и орошения):
 а – отдельно расположенное здание главной станции и есть дополнительные промежуточные станции;
 б – здание главной станции совмещено с береговым колодезем и в сети нет промежуточных станций;
 в – то же, но станция расположена в пределах берегового колодезя; г – то же, но станция расположена в пределах берегового колодезя руслового типа; 1 – затопленный оголовок; 2 – самотечная или сифонная труба;
 3 – береговой колодец; 4 – два ряда плоских сеток; 5, 7 – всасывающие и напорный трубопроводы;
 6 – здание насосной станции; 8, 9 – камеры переключений и водоприемная; 10 – мостовое строение

Основные функциональные зоны главных станций схожи с канализационными насосными станциями (КНС), но в станциях мелиоративного назначения не предусмотрены некоторые помещения административного блока (например, склад реагентов или помещения очистки сероводорода). Высота с.-х. насосных станций может достигать таких значений как и в насосных станциях системы водоотведения. На рис. 5 представлен разрез типовой городской КНС [19].

Сложностью обследования всего комплекса мелиоративных сооружений являются: их большая разновидность; длина трубопроводов; различия в расположении трубопроводов относительно земли; различия гидрогеологического комплекса и грунтов на различных участках трубопровода; влияние различных тепловых, физических, механических изменений воды в трубопроводе на природный ландшафт при эксплуатации и аварийных ситуациях.

Для сравнения можно привести пример отличия системы мелиорации в Российской Федерации и Республике Узбекистан. На Каршинском магистральном канале в Республике Узбекистан преобладают лессовидные почвы, в отличие от территории Астраханской области, где преобладает средне суглинистые почвы. Их теплофизические и



8. Кашкин В. Б., Бураков Д. А., Клыков А. О. Космические технологии – для гидроэнергетики // Гидроэлектростанции в XXI веке: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов. М., 2014. С. 142–148.
9. Сыч А. С., Шин Е. Р. Современные технологии в решении геодезических задач // Международный студенческий строительный форум – 2017: сб. докладов: в 2 т. Белгород, 2017. С. 61–67.
10. Партон В. З., Морозов Е.М. Механика упругопластического разрушения. М., 1985. 504 с.
11. Партон В. З. Механика разрушения от теории к практике. М., 1990. 240 с.
12. Коваленко К. А., Бородин И.Д., Беляков А.Ю. Разработка надводно-подводного комплекса на базе беспилотного летательного аппарата // Гагаринские чтения 2017. Тезисы докладов. Коломна, 2017. С. 76.
13. Беляков А.Ю., Бородин И.Д., Коваленко К.А. Разработка надводно-подводного комплекса на базе беспилотного летательного аппарата // Авиация и космонавтика: 15-я Междунар. конф. М., 2016. С. 38–40.
14. Бородин И. Д. Статистическая оценка устойчивости движения беспилотного летательного аппарата (БЛА) // Гагаринские чтения – 2018: сб. тезисов докладов XLIV Междунар. молодежной науч. конф. Коломна, 2018. С. 17.
15. Канатников А. Н., Акопян К.Р. Управление плоским движением квадрокоптера // Математика и математическое моделирование. 2015. № 2. С. 23–36.
16. Клементова Е., Гейниге В. Оценка экологической устойчивости сельскохозяйственных ландшафтов // Мелиорация и водное хозяйство. 1995. № 5. С. 33–34.
17. Куликова Е. В., Куликов Ю.А. Использование геоинформационных систем при проектировании гидромелиоративных сооружений и установок // Кадастровое и эколого-ландшафтное обеспечение землеустройства в современных условиях: материалы Междунар. науч.-практ. конф. факультета землеустройства и кадастров ВГАУ. Воронеж, 2018. С. 138–143.
18. Loveikin V. S., Romasevych Yu. O., Protzenko Yu. M. Justification the rational unmanned aerial vehicle for remote sensing of agricultural lands // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2017. № 275. С. 12.
19. Чебаевский В. Ф., Вишневыский К.П., Накладов Н.Н., Кондратьев В.В. Насосы и насосные станции. М., 1989. 416 с.: ил.
20. Разаков М. А. Об организации воздухообмена в городской канализационной насосной станции // Сборник докладов Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 90-летию со дня образования факультета водоснабжения и водоотведения МИСИ – МГСУ. М., 2019. С. 104–106.
21. Хохлов А. В., Хохлов В. А., Титова Ж. О. Режимы работы насосных станций Каршинского каскада. Т.: Навруз, 2015.

REFERENCES

1. Pandul I. S. Geodetic works during surveys and construction of hydraulic structures. St. Petersburg, 2008. 154 p.
2. Kalashnik A. I. Multilevel monitoring system for hydraulic structures of mining enterprises and hydropower of the Murmansk region. *Bulletin of the Kolsk Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2019; 2 (11): 45–53.
3. Melnikov N. N., Kalashnik A. I., Kalashnik N. A., Zaporozhets D. V. Complex multilevel system of geomonitoring of natural and technical objects of mining complexes. *Physical and technical problems of mineral development*. 2018; 4: 3–10.
4. Dubenok N. N. Remote sensing of the earth in assessing the state of reclamation systems and the efficiency of the use of reclamation lands. *Problems of development of agricultural reclamation and water management complex based on digital technologies*. Moscow, 2019: 27–37.
5. Oznamets V. V., Belokonev G. V., Dryga D. O., Mochalov A. V. Implementation of engineering and geodetic surveys for the reconstruction of the banks of the Moscow Canal using unmanned aerial vehicles (UAVs) // *Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation*. Moscow, 2018: 678–685.
6. Kulikova E. V., Kulikov Yu. A. Geoinformation systems in ameliorative soil science. *Models and technologies of environmental management (regional aspect)*. 2018; 1 (6): 14–19.
7. Tevyashev A. D., Nikitenko G. V., Yaroshenko Yu. V. The use of geoinformation systems to improve the efficiency of repair and restoration work in water disposal systems. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*. 2009; 6; 7 (42): 4–7.
8. Kashkin V. B., Burakov D. A., Klykov A. O. Space technologies - for hydropower. Hydroelectric power stations in the XXI century: Moscow, 2014: 142–148.
9. Sych A. S., Shin E. R. Modern technologies in solving geodetic problems. *International Student Building Forum-2017: Sat. reports: in 2 volumes*. Belgorod, 2017: 61–67.
10. Parton V. Z., Morozov E. M. Mechanics of elastoplastic fracture. Moscow, 1985. 504 p.
11. Parton V. Z. Fracture mechanics from theory to practice. Moscow, 1990. 240 p.
12. Kovalenko K.A., Borodin I. D., Belyakov A. Yu. Development of a surface-underwater complex based on an unmanned aerial vehicle. *Gagarin Readings 2017*. Kolomna, 2017:76.
13. Belyakov A. Yu., Borodin I. D., Kovalenko K. A. Development of a surface-underwater complex based on an unmanned aerial vehicle. *Aviation and Cosmonautics: 15th Intern. conf*. Moscow, 2016: 38–40.
14. Borodin I. D. Statistical assessment of the stability of the movement of an unmanned aerial vehicle (UAV). *Gagarin Readings - 2018*. Kolomna, 2018: 17.
15. Kanatnikov A. N., Akopyan K. R. Quadcopter flat motion control. *Mathematics and Mathematical Modeling*. 2015; 2: 23–36.
16. Klementova E., Geinige V. Evaluation of the ecological sustainability of agricultural landscapes. *Reclamation and water management*. 1995; 5: 33–34.
17. Kulikova E. V., Kulikov Yu. A. The use of geoinformation systems in the design of irrigation and drainage structures and installations. *Cadastral and ecological-landscape support of land management in modern conditions*. Voronezh, 2018: 138–143.
18. Loveikin V. S., Romasevych Yu. O., Protzenko Yu. M. Justification the rational unmanned aerial vehicle for remote sensing of agricultural lands. *Scientific Bulletin of NUBIP of Ukraine*. 2017; 275: 12.
19. Chebaevsky V. F., Vishnevsky K. P., Nakladov N. N., Kondratiev V. V. Pumps and pumping stations. Moscow, 1989. 416 p.
20. Razakov M. A. On the organization of air exchange in the city sewer pumping station. Collection of reports of the Intern. sci.-tech. conf., dedicated 90th anniversary of the founding of the Faculty of Water Supply and Sanitation MISI – MGSU. Moscow, 2019: 104–106.
21. Khokhlov A. V., Khokhlov V. A., Titova Zh. O. Operating modes of pumping stations of the Karshi cascade. Т., 2015.

Статья поступила в редакцию 15.02.2022; одобрена после рецензирования 30.02.2022; принята к публикации 05.03.2022.
The article was submitted 15.02.2022; approved after reviewing 30.02.2022; accepted for publication 05.03.2022.