

ПОСТРОЕНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА MISSION PLANNER ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

^{1,2}М.Г. Жартыбаева✉, ¹А.Д. Алинова, ^{1,2}Ж.О. Оралбекова, ¹Г.А. Тюлепбердинова,
³Н.М. Жамишева

¹Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

² Astana IT University, Астана, Казахстан,

³ «Институт законодательства и правовой информации Республики Казахстан»

Министерства юстиции Республики Казахстан, Астана, Казахстан,

✉ Корреспондент-автор: makkenskii@mail.ru

Для эффективного управления движением беспилотных летательных и плавательных аппаратов применяется HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ в комплексе с программным пакетом Mission Planner. Цель статьи заключается в разработке эффективных методов построения траектории для БПА с целью повышения точности и безопасности автономных миссий. Цель данного исследования разработка и апробация методов построения траекторий для беспилотных аппаратов, анализ движения мобильных роботов с учетом воздействия течения. Рассматриваются различные параметры полета, такие как высота, скорость и курс, а также методы управления БПА в соответствии с заданными целями. Особое внимание уделяется безопасности и настройке датчиков и устройств, необходимых для автономного полета. Авторские результаты включают в себя разработку алгоритмов планирования траектории, оценку влияния течения на движение робота, а также разработку программного обеспечения для получения и обработки данных о морском дне. Для наглядности и анализа представлены графики и вычислительные результаты, демонстрирующие влияние скорости течения на траекторию движения робота. Также описаны методы разработки программного обеспечения для получения и обработки данных о глубине дна с использованием оборудования HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ и эхолотационного устройства. Полученные результаты имеют как теоретическую, так и практическую значимость. В теоретическом аспекте предложенные методы позволяют более эффективно управлять БППА и анализировать их поведение в различных условиях. В практическом плане это открывает новые перспективы для исследования морского дна и проведения автономных миссий с высокой точностью и безопасностью.

Ключевые слова: планирование траектории, навигация, управление, беспилотный аппарат, исследование рельефа дна.

СУ ОБЪЕКТІЛЕРІН ЗЕРТТЕУГЕ АРНАЛҒАН MISSION PLANNER БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ПАКЕТІН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ДРОНДАРҒА АРНАЛҒАН ТРАЕКТОРИЯНЫ ҚҰРУ

^{1,2}М.Г. Жартыбаева✉, ¹А.Д. Алинова, ^{1,2}Ж.О. Оралбекова, ¹Г.А. Тюлепбердинова,
³Н.М. Жамишева

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

² Astana IT University, Астана, Қазақстан,


³Қазақстан Республикасы Әділет министрлігінің «Қазақстан Республикасының Заңнама және

құқықтық ақпарат институты», Астана, Қазақстан,
e-mail: makkenskii@mail.ru

Ұшқышсыз ұшу және жүзетін аппараттардың қозғалысын тиімді басқару үшін HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ Mission Planner бағдарламалық пакетімен бірге қолданылады. Бұл жұмыстың мақсаты автономды миссиялардың дәлдігі мен қауіпсіздігін арттыру үшін Ұшқышсыз жүзетін аппараттар үшін жүзу жолдарын салудың тиімді әдістерін әзірлеу болып табылады. Бұл зерттеудің мақсаты токтардың әсерін ескере отырып, мобильді роботтардың қозғалысын талдай отырып, ұшқышсыз көліктердің траекторияларын құру әдістерін әзірлеу және сынау болып табылады. Жылдамдық және бағыт сияқты жүзудің әртүрлі параметрлері, сондай-ақ белгіленген мақсаттарға сәйкес Ұшқышсыз жүзетін аппараттар басқару әдістері қарастырылады. Автономды жүзуге қажетті сенсорлар мен құрылғылардың қауіпсіздігі мен конфигурациясына ерекше назар аударылады. Автордың нәтижелеріне траекторияны жоспарлау алгоритмдерін жасау, токтардың робот қозғалысына әсерін бағалау, сондай-ақ теңіз түбіндегі деректерді алу және өңдеу үшін бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеу кіреді. Түсінікті және талдау үшін ағын жылдамдығының робот траекториясына әсерін көрсететін графиктер мен есептеу нәтижелері ұсынылған. Сондай-ақ, HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ жабдығы мен эхолокация құрылғысы арқылы тереңдіктің тереңдігі туралы деректерді алуға және өңдеуге арналған бағдарламалық құралды әзірлеу әдістері сипатталған. Алынған нәтижелердің теориялық және практикалық маңызы бар. Теориялық аспектіде ұсынылған әдістер ұшқышсыз жүзу аппараттарын тиімдірек басқаруға және олардың әртүрлі жағдайларда мінез-құлқын талдауға мүмкіндік береді. Практикалық тұрғыдан алғанда, бұл теңіз түбін зерттеудің және жоғары дәлдікпен және қауіпсіздікпен автономды миссияларды жүргізудің жаңа перспективаларын ашады.

Түйін сөздер: траекторияны жоспарлау, навигация, басқару, пилотсыз аппарат, төменгі рельефті зерттеу

CONSTRUCTING TRAJECTORIES FOR UNMANNED VEHICLES USING THE MISSION PLANNER SOFTWARE PACKAGE FOR RESEARCHING WATER BODIES

^{1,2}M.G. Zhartybayeva , ¹A.D. Alinova, ^{1,2}Zh.O. Oralbekova, ¹G.A. Tyulepberdinova,
³N.M. Zhamisheva

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

² Astana IT University, Astana, Kazakhstan,

³Institute of Legislation and Legal information of the Republic of Kazakhstan” Ministry of Justice
of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan,

e-mail: makkenskii@mail.ru

HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ in combination with Mission Planner software package is used for effective motion control of unmanned aerial and swimming vehicles. The article aims to develop efficient methods of flight trajectory generation for USVs to improve the accuracy and safety of autonomous missions. This research aims to develop and validate methods of trajectory construction for unmanned vehicles and analyze the motion of mobile robots taking into account the impact of currents. Different flight parameters such as altitude, velocity, and heading are considered, as well as methods for controlling the USVs according to the given targets. Special attention is given to safety and the configuration of sensors and devices required for autonomous flight. The author's results include the development of trajectory planning algorithms, evaluation of the effect of currents on the robot's motion, and development of software

to acquire and process seafloor data. Graphs and computational results demonstrating the effect of current velocity on robot trajectory are presented for visualization and analysis. Software development methods for acquiring and processing seabed depth data using HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ hardware and an echolocation device are also described. The obtained results have both theoretical and practical significance. In the theoretical aspect, the proposed methods allow us to control USVs more efficiently and analyze their behavior in different conditions. In practical terms, it opens new perspectives for seabed exploration and autonomous missions with high accuracy and safety.

Keywords: trajectory planning, navigation, control, unmanned aerial vehicle, bottom relief research.

Введение. Современное развитие автономных систем и беспилотных технологий активно внедряется в различные области человеческой деятельности, включая аэрокосмическую, морскую и сельскохозяйственную сферы. Однако эффективное управление беспилотными плавательными или летательными аппаратами, мобильными роботизированными системами требует разработки специализированных методов и алгоритмов для планирования траекторий и навигации [1]. Так как обычно эксперименты происходят в полевых условиях, где не всегда имеется доступ к электропитанию и есть необходимость экономии электроэнергии и времени [2].

В рамках этого контекста, данное исследование направлено на разработку эффективных методов построения траекторий полета и движения для беспилотных аппаратов и мобильных роботов. Главная гипотеза данного исследования состоит в том, что применение специализированных программных пакетов и алгоритмов, адаптированных к конкретным условиям и задачам, позволит улучшить точность и эффективность управления автономными системами. Цель данного исследования заключается в разработке и апробации методов построения траекторий для беспилотных аппаратов с использованием HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ и программного пакета Mission Planner, а также в анализе движения мобильных роботов с учетом воздействия течения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Изучение специализированных программных пакетов и алгоритмов для построения траекторий полета и движения беспилотных аппаратов.

- Разработка и апробация методов построения траекторий с использованием оборудования HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ и программного пакета Mission Planner.
- Анализ движения мобильных роботов с учетом воздействия течения и разработка соответствующих алгоритмов управления.
- Данное исследование имеет практическую значимость для разработки автономных систем и беспилотных технологий, а также теоретическую значимость для углубления понимания принципов планирования траекторий и навигации в автономных системах.

Материалы и методы. Исследование проводилось на материальной базе научно исследовательского проекта AP09058557, используя разработанный исследовательской группой проекта беспилотный плавательный аппарат (БППА) с оборудованием HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ и программный пакет Mission Planner. Выборка включала несколько типов БППА с различными характеристиками, обеспечивая разнообразие условий для тестирования.

Для освоения и анализа программного пакета Mission Planner и алгоритмов планирования траекторий проводились обучающие сессии с использованием руководств и онлайн-ресурсов [3-6]. Это позволило понять основные принципы работы программы и ее функциональные возможности. Были разработаны и реализованы алгоритмы построения траекторий для различных сценариев полета, учитывающие разнообразные факторы, такие как высота, скорость, курс и точки назначения. Для проверки эффективности алгоритмов проводились серии тестовых полетов на специально подготовленной площадке.

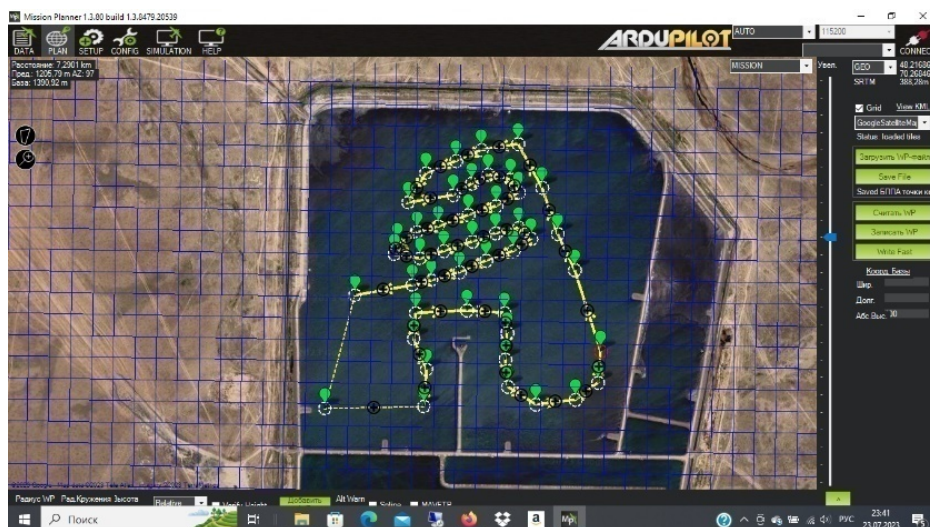


Рис. 1 – Построение траектории в Mission Planner

Для анализа движения мобильных роботов проводились эксперименты с использованием симуляторов и математических моделей реализованных на Python, учитывающих влияние течения и других факторов. Полученные результаты анализировались с целью определения оптимальных стратегий управления в различных условиях.

Эксперименты включали в себя серию тестовых полетов и анализ движения мобильных роботов в различных условиях. Перед началом экспериментов проводилась подготовка оборудования и алгоритмов, а также калибровка датчиков. Затем выполнялись запланированные полеты и сбор данных, которые анализировались с использованием статистических и математических методов. Полученные результаты использовались для оценки эффективности разработанных методов и алгоритмов.

Навигационная система. Для построения траектории с помощью HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ необходимо использовать специализированные программные пакеты и алгоритмы, позволяющие задать нужную траекторию полета.

Это было реализовано с помощью программного пакета Mission Planner. При построении траектории с помощью HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ учитываются различные параметры полета, такие как высота, скорость, курс и точки назначения. Это позволяет управлять БППА в соответствии с заданными целями и с высокой

точностью выполнять требуемые маршруты (Рис. 1).

Важно отметить, что для успешного построения траектории и выполнения автономного полета с помощью HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ также необходимо обеспечить правильную калибровку и настройку всех датчиков и устройств, используемых на БППА. Кроме того, при использовании беспилотных плавательных аппаратов критически важно обеспечение безопасности полетов и соблюдение всех нормативных норм и правил (Рис. 2).

Для анализа движения мобильного робота представляется необходимым ввести системы координат, описывающее его движения. При этом используются две системы координат: фиксированная X_0OY_0 и подвижная XGY , жестко связанная со станком. Оси стационарной системы координат выбираются в качестве начальных так, чтобы в начальный момент времени они совпадали с осями движущейся системы.

Угол λ , образующийся между диаметральной плоскостью (ДП) и осью X_0 , называется курсовым углом. Этот угол можно выразить через другие углы, например:

Центральный угол сноса (φ), который измеряется между вектором мгновенной скорости центра тяжести (ЦТ) робота и диаметральной плоскостью.

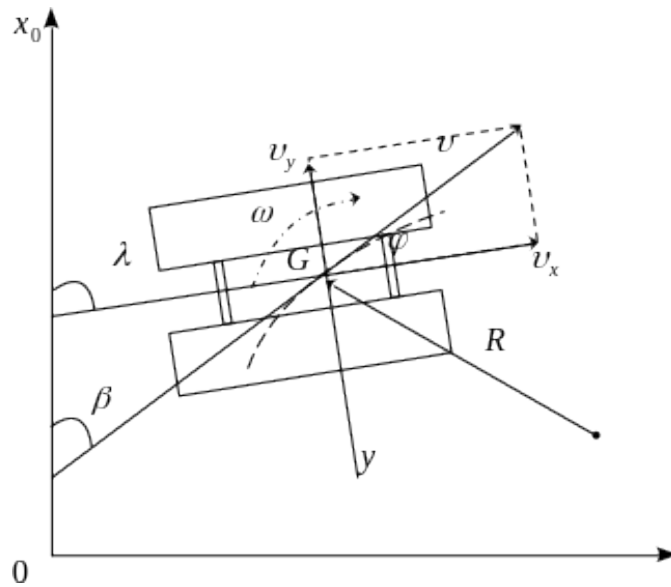


Рис. 2 – Схема исследования траектории плавающего робота при повороте

Угол траектории (β) или угол скорости, который измеряется между вектором скорости и X_0 осью. Для оценки влияния течения на управляемость плавающего робота анализируется их движение в двух случаях: с течением и без течения. Это осуществляется путем построения траекторий движения робота на основе исходных данных теста. Параметры движения робота можно определить через проекцию скорости центра тяжести на движущиеся оси и угловую скорость. Однако в некоторых ситуациях удобнее использовать альтернативные кинематические параметры: модуль скорости центра тяжести ($|v|$), угол сноса (φ) и угловую скорость. Такая система параметров позволяет более удобно описывать движение и анализировать его влияние на управляемость робота при различных условиях течения [7].

– абсолютная скорость транспортного средства относительно системы координат: угол траектории или угол скорости, измеренный между вектором скорости и осью [8].

v – абсолютная скорость транспортного средства относительно системы координат X_0OY_0 . : угол траектории или угол скорости, измеренный между вектором скорости и осью X_0 [7].

$$\begin{aligned} X &= \int_0^t v \cos(\beta) dt \\ Y &= \int_0^t v \sin(\beta) dt \end{aligned} \quad (1)$$

В отсутствие потока (скорость потока равна нулю) траектория робота подчиняется следующим принципам и уравнениям:

$$\begin{aligned} X &= \int_0^t v \cos(\beta + \omega t) dt = \int (v_x - at) \cos(\varphi + \omega t) dt \\ Y &= \int_0^t v \sin(\beta + \omega t) dt = \int (v_y - at) \sin(\varphi + \omega t) dt \end{aligned} \quad (2)$$

Эти уравнения описывают прямолинейное равномерное движение робота без учета влияния потока. Таким образом, при отсутствии потока машина будет двигаться прямолинейно со скоро-

стью v под углом к положительному направлению оси X .

Траектория катамарана под действием течения определяется следующим образом:

$$X = \int v_i \cos(\beta + \omega t) dt = \int \left(\sqrt{v^2 + v_f^2 + v_c v_t \cos(\varphi_f)} \right) \cos(\beta + \omega t) dt$$

$$Y = \int v_i \sin(\beta + \omega t) dt = \int \left(\sqrt{v^2 + v_f^2 + v_c v_t \sin(\varphi_f)} \right) \sin(\beta + \omega t) dt$$
(3)

При наличии течения абсолютная скорость v_c относительно системы координат X_0OY_0 определяется, как показано на рисунке 3.

Результаты расчетной оценки влияния скорости течения на траекторию движения катамарана с использованием программы Python.

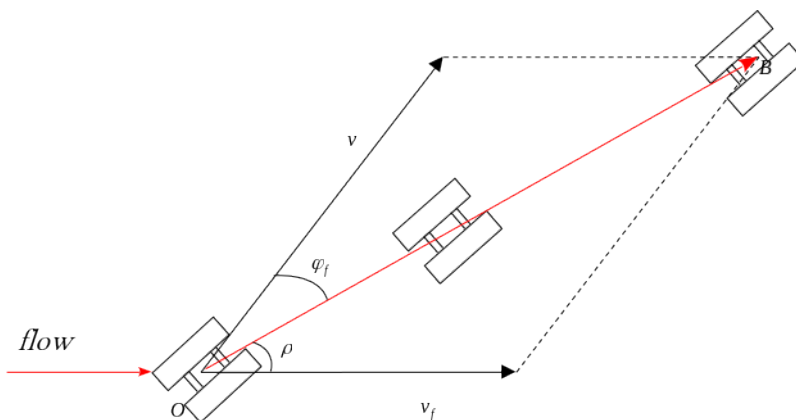


Рис. 3 – Схема исследования траектории плавающего робота при повороте под действием потока воды

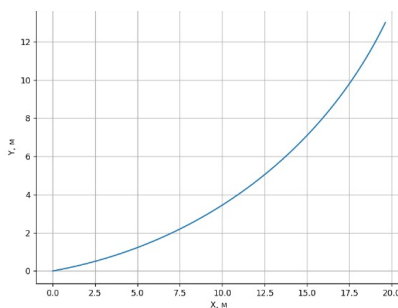


Рис. 4 – Траектория катамарана в течение первых 10 секунд (без учета и без учета течения)

Для наглядности предположим, что мы хотим рассчитать траекторию катамарана в течение первых 10 секунд (без учета и без учета течения)(Рис. 4).

Для расчета траектории катамарана с учетом скорости потока воды можно модифицировать уравнения движения с учетом дополнительной скорости, вызванной течением. Вам нужно будет сложить векторы скорости плавания и вектор скорости потока, чтобы определить конечную скорость автомобиля: По оси OX и OY. если мас-

са машины 75 кг, длина 1,57 м, ширина 0,515 м, высота 0,3, скорость плавания 0,5 м/с, угол сноса 0,1 рад., угол скорости 0,2 рад., относительный радиус поворота 0,75 м., угол скорости 0,05 рад/с., скорость первого потока 1,4 м/с, скорость второго потока 1 м/с. Начальная координата 0,0.

Разработка программного обеспечения для получения 2D, 3D карт дна. Полученные данные с борта, в частности от эхолотического устройства (данные о глубине) и HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ (данные GPS, данные о состоянии,

данные о траектории), передаются в удаленный командный центр (компьютер). Данные, полученные от HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+, отправляются в Mission Planner для мониторинга данных в реальном времени, таких как координаты GPS, высота, скорость, состояние батареи и другие параметры [9-10]. Эти данные можно сохранить в текстовый файл и отправить на веб-сервер для последующего сохранения в базе данных MySQL. Далее с помощью разработанного программного кода на Python и его библиотек данные обрабатываются и визуализируются в 2D и 3D графике. Для быстрой обработки используется библиотека NumPy, позволяющая конвертировать данные в удобный для анализа массив.

Созданный таким образом массив визуализируется с помощью библиотеки plotly. Для создания 2D и 3D графики используется экспресс-инструмент, который, получая ранее созданный массив данных, создает динамическое окно с графиками (Рис. 5). Затем Python создает html-файл с готовыми графиками. В это окно добавлены CSS-классы для более удобного интерфейса, с которым будет взаимодействовать пользователь (Рис. 6). Готовый html-файл отправляется клиенту приложения, где пользователь может его видеть и взаимодействовать с ним. На рисунке 5 3D карта дна хвостохранилища Жайремского горно-обогатительного комбината. Объект был исследован несколько раз для большей точности данных.

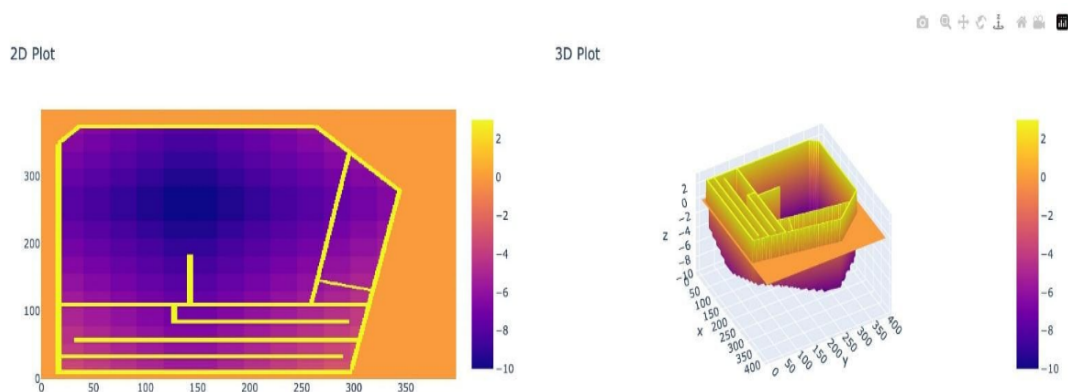


Рис. 5 – 2D, 3D карта дна хвостохранилища Жайремского горно-обогатительного комбината

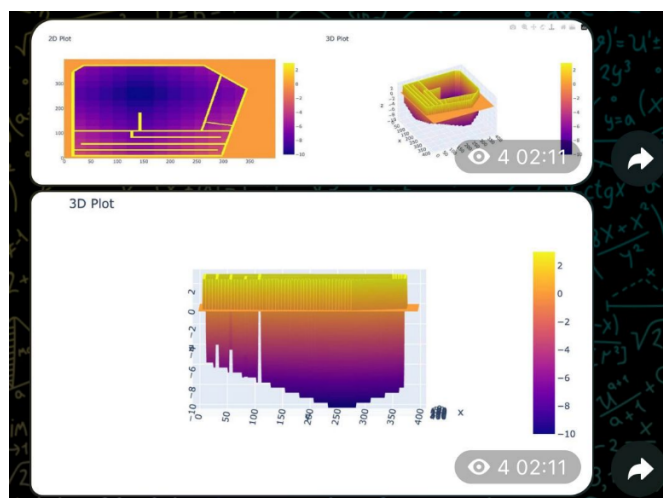


Рис. 6 – Телеграм бот

По результатам испытаний робототехнического комплекса получены данные об ошибке движения робота в системе координат, которая составляет примерно 0,2 метра по оси x и 0,1 метра по оси y. Во время испытаний температура, влажность, уровень кислорода (O₂) и концентрация частиц были практически постоянными. Также известно, что средняя глубина хвостохранилища составляет 4,56 метра.

На основании этих данных были произведены расчеты объема воды. Для этого были замерены площади водосборов различных участков: площадь водосбора участка баритового хвостохранилища - 2,5 км², площадь водосбора участка баритового хвостохранилища вместе с участком фильтрации - 0,38 км². Также установлено, что в пруду-окислителе скопилось 1,85 млн м³ воды, что соответствует уровню воды на отметке 392,55 метра.

Результаты расчетов позволили установить следующие факты:

В первом полугодии 2021 года был «нулевой» баланс без сброса излишков в пруд-испаритель. Этого удалось добиться за счет замачивания основания и заполнения участков хвостохранилища, что предотвратило сброс воды.

За последующий период до конца 2023 года зафиксировано превышение оборотной воды в пределах от 6704,443 до 24593,282 млн м³, которая сбрасывалась в пруд-испаритель. Это позволило контролировать уровень воды в системе и избежать перелива.

Также установлено, что площадь и объем прудов-отстойников участков хвостохранилища и пруда-окислителя обеспечивают:

Достаточное освещение оборотной воды, возвращаемой на завод в технологическом процессе, позволяет повторно использовать эту воду.

Возможность складирования объема хвостов, поступающих в пруды-отстойники в течение года, что способствует эффективному обращению с отходами.

Натурные эксперименты, проведенные с использованием мобильного роботизированного комплекса, позволили сделать вывод, что МРК

обеспечивает стабильную и надежную передачу данных. Преодоление помех, возникающих на выходах датчиков, было достигнуто за счет внедрения схем развязки, что значительно улучшило качество сигнала и обеспечило более точные измерения. Программное обеспечение, предназначенное для эффективного контроля и мониторинга функций работы системы при использовании на персональном ноутбуке. Это обеспечивает полный спектр функциональных возможностей предлагаемой системы и обеспечивает ее высокую практичность в реальных условиях эксплуатации. Следует отметить, что внедрение датчика воды в БППА дает водникам уникальную возможность осуществлять непрерывный мониторинг и контроль параметров качества воды на уязвимых и стратегически важных участках хвостохранилищ и водоемов. Такой подход значительно повышает эффективность и результативность управления водными ресурсами, способствуя более рациональному и обоснованному принятию решений в этой области.

Результаты и обсуждение. Рисунок 1 демонстрирует графическое представление траекторий полета БППА для разных сценариев. На рисунке 5 представлена 3D карта дна хвостохранилища Жайремского горно-обогатительного комбината, которая была визуализирована в результате ряда экспериментов с применением разработанного исследовательской группой проекта AP09058557 и авторами статьи МРК, над хвостохранилищем. Объект был исследован несколько раз для большей точности данных.

Исследование направлено на разработку и апробацию методов планирования траекторий для БППА с использованием программного пакета Mission Planner. Основной целью было улучшение точности и эффективности управления беспилотными аппаратами.

Наиболее значимые результаты включают улучшение времени полета и точности навигации при использовании новых алгоритмов планирования траекторий. Сравнение с другими исследованиями показывает сопоставимые или более высокие показатели эффективности разработанных методов. Однако проблемные зоны включа-

ют необходимость дальнейшей оптимизации алгоритмов для учета разнообразных условий полета.

В данной работе был представлен процесс построения траектории полета для беспилотных аппаратов с использованием HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ и программного пакета Mission Planner. Этот процесс включает в себя учет различных параметров полета, таких как высота, скорость и курс, и позволяет эффективно управлять беспилотными аппаратами в соответствии с заданными целями. Основное внимание уделено безопасности и настройке датчиков и устройств, необходимых для автономного полета. Проведенный анализ движения мобильного робота, включая оценку углового ускорения и скорости с учетом воздействия течения, позволяет более точно планировать маршруты и управлять беспилотными аппаратами в различных условиях. Дополнительно, рассмотрены методы разработки программного обеспечения для получения и обработки данных о глубине морского дна с использованием HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ и эхолотационного устройства. Этот подход открывает новые перспективы для исследования морских ресурсов с высокой точностью и безопасностью. Таким образом, представленная методика и результаты работы имеют важное значение для разработки и управления беспилотными аппаратами, а также для проведения исследований морского дна и его ресурсов. Дальнейшие исследования в этой области могут включать расширение функциональности программного обес-

печения, а также углубленный анализ влияния различных параметров на эффективность управления беспилотными аппаратами.

Выводы. В ходе исследования были рассмотрены методы планирования траекторий для беспилотных аппаратов с использованием программного пакета Mission Planner. Полученные результаты позволяют сделать вывод о повышении точности и эффективности управления БПЛА в различных сценариях полета. Были изучены специализированные программные пакеты и алгоритмы для планирования траекторий полета беспилотных аппаратов. Разработаны и апробированы методы построения траекторий с использованием оборудования HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ и программного пакета Mission Planner. Проведен анализ движения мобильных роботов с учетом воздействия течения, что позволило определить оптимальные стратегии управления в различных условиях. Полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что применение специализированных методов планирования траекторий повышает эффективность управления беспилотными аппаратами. Таким образом, разработанные методы и алгоритмы имеют потенциал для широкого применения в области автономных систем и могут быть использованы для улучшения точности и эффективности управления беспилотными аппаратами.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта МОН РК в рамках проекта AP09058557 по договору Nob3-КМУ2 от 24 февраля 2021 года.

Литература

1. Shubhani Aggarwal, Neeraj Kumar. Path planning techniques for unmanned aerial vehicles: A review, solutions, and challenges // Computer Communications. - 2020. – Vol. 149. - P. 270-299. DOI: 10.1016/j.comcom.2019.10.014.
2. Faiyaz Ahmed, J.C. Mohanta, Mohd. Nayab Zafar. Development of smart quadcopter for autonomous overhead power transmission line inspections // – 2022. – Vol. 51(1). -P. 261-268. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.05.271
3. How to connect a PixHawk Cube or similar system - a simple overview. –URL: <https://www.youtube.com/watch?v=tIE8IN71UFI>. (date of application 15.06.2024)
4. All the confusing names in 'Pixhawk' explained (Mission Planner, PX4, Ardupilot Pixhawk etc.) – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=0vBXFjhw-5M>. (date of application 15.06.2024)

5. Khosyi'In, M., Budisusila, E.N., Dwi Prasetyowati S.A., Suprpto B.Y.; Nawawi Z. Design of Autonomous Vehicle Navigation Using GNSS Based on Pixhawk 2.1 // International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI). – 2021. -P. 175 – 180. DOI: 10.23919/EECSI 53397.2021.9624244.
6. Mission Planner Overview, 2021, [online] Available. –URL: <http://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html>. (date of application 15.06.2024)
7. Myasishev, O. O., Lienkov, S. V., Ovcharuk, V. V., Tolok, I., Lytvynenko, N., Zinchyk, A. G., & Lytvynenko, O. I. Large-capacity quadcopter's designing on the controllers of the pixhawk cube family. 75. -2022. –P. 108-118. DOI: 10.17721/2519-481x/2022/75-11
8. S. Fujita and S. Mae Causes and Nature of ice-sheet radio-echo internal reflection estimated from the dielectric properties of ice // Annals of glaciology. -1994. -Vol. 20. -P. 80-86.
9. Nicolas A.; Olmedo and Michael G. Lipsett. 2016. Design and field experimentation of a robotic system for tailings characterization // Journal of Unmanned Vehicle Systems. –Vol. 4(3). –P. 169-192. DOI 10.1139/juvs-2015-0034.
10. Lienkov, S., Myasishev, A. A., Ovcharuk, V., Lenkov, E., & Lytvynenko, N.. Development of Multifunctional Rotary UAV Based on Pixhawk Family Flight Controllers. -2023. –Vol. 18(1). DOI: 10.3849/aimt.01752

Сведения об авторах

Жартыбаева М.Г.-PhD., Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: makkenskii@mail.ru;

Алинова А.Д.-Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: alinova-aida@mail.ru;

Оралбекова Ж.О. -PhD, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: oralbekova@bk.ru;

Тюлепбердинова Г.А.-к.ф.-м.н., доцент, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: tyulepberdinova@gmail.com;

Жамишева Н.М.--«Институт законодательства и правовой информации Республики Казахстан» Министерства юстиции Республики Казахстан, главный специалист отдела поддержки информационных систем, Астана, Казахстан, e-mail: nuray_zhamisheva33@gmail.com.

Information about the authors

Zhartybayeva M.G. -PhD., L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: makkenskii@mail.ru;

Alinova A/D.- L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: alinova-aida@mail.ru;

Oralbekova Zh. O. -Ph.D., L.N. Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan, e-mail: oralbekova@bk.ru;

Tyulepberdinova G.A.- PhD, associate professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: tyulepberdinova@gmail.com;

Zhamisheva N.M. - Institute of Legislation and Legal information of the Republic of Kazakhstan” Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan, Chief specialist of the information systems support department, Astana, Kazakhstan, e-mail: nuray_zhamisheva33@gmail.com.