

Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 3 (143). С. 103-115. ISSN 1998-8443 (print)
Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2023. Issue 3 (143). P. 103-115. ISSN 1998-8443 (print)

Научная статья

УДК 621.644:623.746

doi: 10.17122/ntj-oil-2023-3-103-115

EDN: NZWONG

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНСПЕКЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Павел Васильевич Шадренкин¹, Артём Павлович Токарев²

^{1, 2}Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

¹99paha@mail.ru

²art-tokarev@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Токарев Артём Павлович, art-tokarev@yandex.ru

Аннотация. Мониторинг состояния трубопроводов и площадочных объектов системы магистрального транспорта нефти и газа, а также других объектов нефтегазового комплекса позволяет оперативно собирать необходимые сведения, проникая в труднодоступные места, куда не способны попасть наземный транспорт или человек, и сократить время реагирования на аварийные ситуации и устранение их последствий.

В работе рассматриваются существующие конструкции беспилотных летательных аппаратов, применяемые в системах удаленного мониторинга технологических

объектов, анализируются их преимущества и недостатки в условиях инспектирования линейной части магистрального трубопровода.

Предложены два варианта расстановки вдоль трассы автоматизированных платформ для взлета и подзарядки беспилотных летательных аппаратов. Один вариант позволяет провести более тщательную инспекцию во время облета, второй - использовать меньшее количество платформ и увеличить протяженность инспектируемого участка.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, мониторинг, инспекция трубопровода, линейная часть трубопровода

Для цитирования: Шадренкин П. В., Токарев А. П. Автоматизированная инспекция трубопроводов с помощью беспилотных летательных аппаратов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 3 (143). С. 103-115. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2023-3-103-115>.

Original article

AUTOMATED PIPELINE INSPECTION USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

Pavel V. Shadrenkin¹, Artem P. Tokarev²

^{1, 2}Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

¹99paha@mail.ru

²art-tokarev@yandex.ru

Corresponding author: Artem P. Tokarev, art-tokarev@yandex.ru

Abstract. Monitoring the condition of pipelines and site facilities of the oil and gas trunk transportation system, as well as other facilities of the oil and gas complex, allows you to collect the necessary information quickly, getting into hard-to-reach places where land transport or a person cannot get to, and reduce the response time to emergency situations and eliminate their consequences.

The paper considers the existing designs

of unmanned aerial vehicles used in systems for remote monitoring of technological facilities, analyzes their advantages and disadvantages while inspecting the linear part of the trunk pipeline. Two variants for automated platforms placing along the route for taking off and recharging unmanned aerial vehicles are proposed. The first variant allows more thorough inspection while flying around, the second one allows using fewer platforms and longer inspection area.

Keywords: unmanned aerial vehicle, monitoring, pipeline inspection, pipeline linear part

For citation: Shadrenkin P. V., Tokarev A. P. Avtomatizirovannaya inspektsiya truboprovodov s pomoshch'yu bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Automated Pipeline Inspection Using Unmanned Aerial Vehicles]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2023, Issue 3 (143), pp. 103-115. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2023-3-103-115>.

Нефтегазовое хозяйство – комплексное направление, в рамках которого проводятся различные виды инспекционных работ: мониторинг буровых установок и магистральных трубопроводов, разведка местности, геодезическая съемка, оценка воздуха на химические выбросы и наличие углерода, контроль за функционированием нефтяных объектов и инспекция утечек газа и нефти.

Внедрение беспилотных решений в различные направления сектора позволяет значительно повысить продуктивность работ и снизить количество издержек [1]. Дроны позволяют оперативно собирать необходимые сведения, проникая в труднодоступные места, куда не способны попасть наземный транспорт или человек.

Время полета беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) становится серьезной проблемой при рассмотрении недостатков беспилотных летательных аппаратов. Это связано с питанием от аккумулятора дрона, поскольку он не может обеспечить достаточную энергоемкость для выполнения более длительных миссий, таких как мониторинг протяженных линейных объектов и площадных объектов большой площади [2]. В настоящее время в большинстве отраслей промышленности, использующих беспилотные летательные аппараты, используются Li-Po аккумуляторы. Эти типы батарей обычно обеспечивают максимально 30-минутное время полета [3] в зависимости от характеристик дронов, датчиков и исполнительных механизмов. Как правило, известно, что зарядка Li-Po аккумулятора займет около 1-2 ч. Таким образом, длительность выполнения миссии будет напрямую зависеть от того, нужно ли заряжать батареи дронов каждые 30 мин. Замена батареи займет значительно меньше времени, чем зарядка [4].

Чтобы решить проблемы недостаточной энергоемкости беспилотных летательных аппаратов, были предложены несколько станций зарядки аккумуляторов или автоматизированных платформ. Станция для зарядки аккумулятора может быть с беспроводной системой зарядки [5-7] или с проводной за-

рядной док-станцией [8-10] для зарядки установленного аккумулятора после посадки беспилотника на док-станцию. В некоторых случаях к беспилотнику были прикреплены устройства для зарядки в воздухе, использующие фотоэлектрические элементы [11]. Для станций автоматической замены батарей необходимо, чтобы после приземления БПЛА размещался таким образом, чтобы можно было использовать роботизированный захват для правильной замены использованной батареи на полностью заряженную.

Применение беспилотных летательных аппаратов в нефтегазовой отрасли

Применение беспилотных летательных аппаратов растет невероятно быстрыми темпами. В 2016 г. рынок БПЛА в мире составлял порядка 1,5 млрд долларов США. К концу текущего года сумма, по прогнозам, возрастет до максимальных 132 млрд долларов США. К 2025 г. показатель и вовсе может составить 142,8 млрд долларов США. Ведущими отраслями, по оценкам специалистов, остаются энергетика, сельское хозяйство и нефтегазовая отрасль [12].

Ценность применения беспилотных решений заключается в том, что они способны не только собирать данные с воздуха, но и быстрее и точнее обрабатывать получаемую информацию. В свою очередь, эти данные используются для интеграции их в информационные комплексы и составления планов и концепций на перспективу. Умение оперативно и правильно использовать информацию в производственных процессах дает компаниям множество преимуществ в конкурентной борьбе и позволяет им успешно адаптироваться к условиям нынешней ситуации в экономике и бизнесе.

Внедрение беспилотных аппаратов в российской нефтегазовой отрасли уже ведется, и довольно успешно. ПАО «НК «Роснефть» начала испытания БПЛА в воздухе над месторождениями «РН-Юганскнефтегаз» для контроля трасс трубопроводов и объектов наземной инфраструктуры нефтегазодо-

бычи. По итогам их использования, в 2016 г. вдвое выросла частота облета трубопроводного парка и на 30 % сокращены затраты по сравнению с использованием вертолетов [13]. Повысилась оперативность реагирования на причины отклонений в технологических режимах, усилен контроль в охранных зонах промысловых объектов.

В ОАО «Самотлорнефтегаз» активно использует дроны для мониторинга месторождения Самотлор. При использовании БПЛА на Самотлоре были достигнуты следующие результаты [14]:

- проведено обследование более 50 загрязненных участков, эффективность (затраченное время и ресурсы) БПЛА по сравнению с традиционными способами обследования составила более 300 %;
- проведено обследование пяти водных объектов (обследование традиционным образом затруднено из-за болотистой местности);
- обнаружено четыре очага возгораний на ранней стадии в пожароопасный период;
- с помощью БПЛА контролировались работы по рекультивации загрязнённых земель (контроль персонала и техники);
- на ранней стадии обнаружены несколько утечек в трубопроводах;
- обнаружена и задержана группа преступников, пытавшихся похитить кабель с кустовой площадки ЦДНГ-3;
- обнаружено место слива похищенной нефти. Благодаря этой информации автомашина преступников через два дня была задержана при попытке хищения нефти из не-санкционированной врезки.

Тем не менее, до сих пор у крупных игроков нефтегазового рынка нет своих собственных подразделений, осуществляющих внедрение и эксплуатацию беспилотников. Пока что в нефтегазовой отрасли компании предпочитают использовать услуги независимых подрядчиков, нежели создавать собственные подразделения с использованием дронов. Из крупных игроков на рынке БПЛА можно выделить компанию Cyberhawk (Шотландия), PrecisionHawk (США), Sky Futures

(Великобритания). В России такой деятельностью занимается Группа компаний «Беспилотные системы» (ГК «Беспилотные системы»).

Виды беспилотных летательных аппаратов

На сегодняшний день существуют различные виды и модификации летательных аппаратов. Так, в ГК «Беспилотные системы» представлен перечень БПЛА с фиксированным крылом, мультироторного типа и конструкции VTOL (vertical take-off and landing - вертикального взлета и посадки) [15].

Два принципиально разных типа БПЛА (рисунок 1):

- беспилотные летательные аппараты с неподвижным крылом, которые позволяют вести съемку на большой площади при более высокой скорости полета и более низком энергопотреблении;
 - вертолетные БПЛА, мультироторные летательные аппараты, позволяющие получить максимальную детализацию, но при этом покрывают малые площади.
- Вне зависимости от типа летательных аппаратов на них могут быть установлены датчики следующих типов отдельно или в виде единого комплекта:
- RGB-камера, т.е. фото- или видеокamera для получения изображения в видимом спектре;
 - спектральные камеры для анализа конкретных спектров, как видимого, так и инфракрасного;
 - лазерные датчики для картирования местности;
 - тепловизор используется для анализа спектров в дальнем инфракрасном диапазоне.

Дроны могут работать как в ручном режиме, когда оператор контролирует полет, так и в режиме автопилота. Во втором случае дрон полагается на так называемое искусственное зрение и различные датчики (акселерометры, барометры, гироскопы, LIDAR и другие датчики), сканирующие пространство вокруг летательного аппарата.



Рисунок 1. БПЛА с фиксированным крылом и мультироторный дрон

Figure 1. Fixed wing UAV and multirotor drone

Благодаря своей конструкции дроны с неподвижным крылом могут скользить по заданной траектории и достигать больших высот, чем дроны других типов. Это делает их эффективными для процессов, предшествующих строительству, таких как картирование топографии и съемка больших площадей. Однако они способны летать только вперед, поэтому плохо работают на участках с большим количеством препятствий или тесных пространствах.

Роторная конструкция позволяет зависать на месте и оставаться стабильными, что упрощает управление по сравнению с дронами с неподвижным крылом. Эти дроны являются хорошим вариантом для воздушных инспекций, структурного сканирования, фотографирования и наблюдения на коротких расстояниях.

Существует отдельный тип беспилотного воздушного судна VTOL (вертикального взлета и посадки), который позволяет объединить сильные стороны мультироторных летательных аппаратов и аппаратов с фиксиро-

ванным крылом. В свою очередь, объединение летательного аппарата VTOL с автоматизированной платформой для хранения и зарядки беспилотного воздушного судна дает возможность сделать инспекцию трубопровода более оперативной, дешевой и менее подверженной человеческому фактору.

Концепция применения

На сегодняшний день существуют патенты и опытные модели летательных аппаратов вертикального взлета и посадки. Такой вид конструкции будет более эффективен для инспекции объектов нефтегазовой отрасли, чем мультироторные конструкции и конструкции с фиксированным крылом. Так называемый VTOL представлен на рисунке 2.

Летательный аппарат на рисунке 2 содержит опорную конструкцию 2. Опорная конструкция 2 содержит центральный фюзеляж 3 и два пилона 4, каждый из которых расположен сбоку на расстоянии от фюзеляжа 3. Дополнительно летательный аппарат 1 содер-

жит узел 5 крыла, который согласно изображенному варианту выполнения летательного аппарата 1 содержит основное несущее крыло 51 и поворотный руль 52 высоты. В проиллюстрированном варианте выполнения летательный аппарат 1 содержит несущие винты 6 и движитель 7. Каждый из несущих винтов 6 прикреплен к опорной конструкции 2 летательного аппарата 1. Каждый несущий винт 6 содержит пропеллер 61, имеющий две лопасти 62. Несущие винты 6 предназначены для создания, по мере вращения пропеллера 61, подъемной силы, действующей в вертикальном направлении относительно летательного аппарата 1.

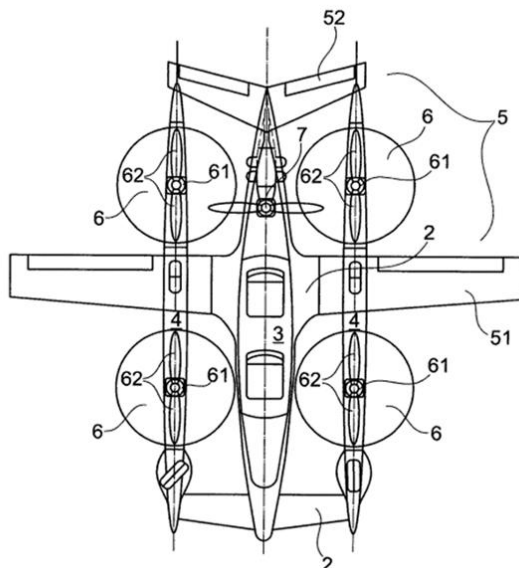


Рисунок 2. Конструкция летательного аппарата вертикального взлета и посадки

Figure 2. The design of the aircraft vertical takeoff and landing

Движитель 7 летательного аппарата 1 выполнен с возможностью создания движущей силы, действующей на опорную конструкцию 2 в горизонтальном направлении. Каждый из пилонов 4 летательного аппарата 1 содержит два несущих винта 6, которые выполнены с возможностью остановки соответствующих лопастей 62 пропеллера несущего винта 6 в определенном положении относительно пилонов 4.

В остановленном положении лопасти 62 несущих винтов 6 не выступают за наружные габариты пилонов 4 [16].

Для трубопроводного транспорта использование БПЛА конструкции с возможностью вертикального взлета и посадки дает ряд преимуществ по отношению к стандартным конструкциям летательных аппаратов:

- возможность полной автоматизации дрона взлет-инспекция-посадка;
- увеличенное время полета;
- способность маневрировать в ограниченном пространстве;
- способность зависать над инспектируемым объектом для более детального осмотра;

- устройство не требует взлетно-посадочной полосы, а также пускового устройства с парашютом.

VTOL представляет собой гибрид коптера и самолета. При использовании двигателя внутреннего сгорания в качестве маршевого можно достичь дальности полета до 100 км. Конструкции, позволяющие осуществлять вертикальный взлет и посадку, могут приземляться и взлетать в полностью автоматическом режиме, что дает возможность более глубокой автоматизации инспекции трубопровода.

На рисунке 3 представлены перегон между двумя нефтеперекачивающими станциями с запорной арматурой на линейной части и два варианта расстановки вдоль трубопровода автоматизированных взлетно-посадочных платформ (АВПП) для взлета и подзарядки БПЛА.

При использовании модели 1 подразумевается, что при инспекции трубопровода БПЛА взлетит с автоматизированной платформы, пролетит над исследуемым участком, развернется и вернется на ту же платформу.

В модели 2 для экономии энергии и количества установок используется другой принцип: БПЛА, взлетая с одной платформы, пролетает инспектируемый участок и садится на соседнюю платформу, при следующей инспекционной сессии БПЛА возвращается на исходную платформу.

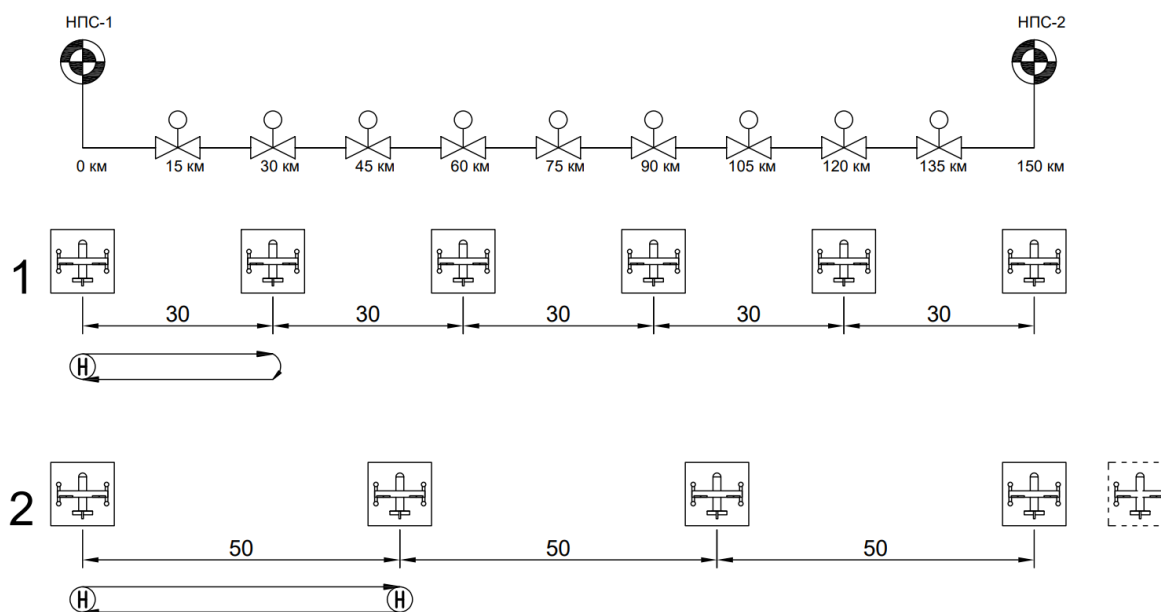


Рисунок 3. Модели использования БПЛА VTOL по линейной части трубопровода

Figure 3. Models of using VTOL UAVs along the linear part of the pipeline

Преимущество модели 1 в более тщательной инспекции, так как беспилотный летательный аппарат пролетает над инспектируемым участком два раза.

Модель 2 позволяет использовать меньшее количество платформ и самих БПЛА, так как БПЛА пролетает участок только один раз, что позволяет увеличить протяженность инспектируемого участка одним летательным аппаратом.

Компоновка оборудования для обеспечения автоматической инспекции (рисунок 4) включает пункта управления, где происходят прием и обработка инспекционных данных, полученных с БПЛА.

Из пункта управления поступают команды для автоматизированных платформ и БПЛА путем радиопередачи. Возможны как ручное управление летательным аппаратом, так и задание работы по сценарию.

Автоматизированная платформа представляет собой ящик с механическим люком, который открывается при взлете и посадке летательного аппарата, а в режиме ожидания находится в закрытом состоянии, поддерживая батареи летательного аппарата в оптимальном температурном режиме, и заряжает их. В таблице 1 представлено сравнение методов инспекции.

Вертолет является наиболее дорогим и сложным (необходим подготовленный пилот, сложность конструкции и обслуживания машины) видом инспекции, является неотъемлемой частью нефтегазовой отрасли для заброски людей и грузов в отдаленные части планеты, но для подвеса инспекционного оборудования грузоподъемность вертолетов избыточна, что открывает возможности для использования БПЛА в мониторинге нефтегазовых объектов.

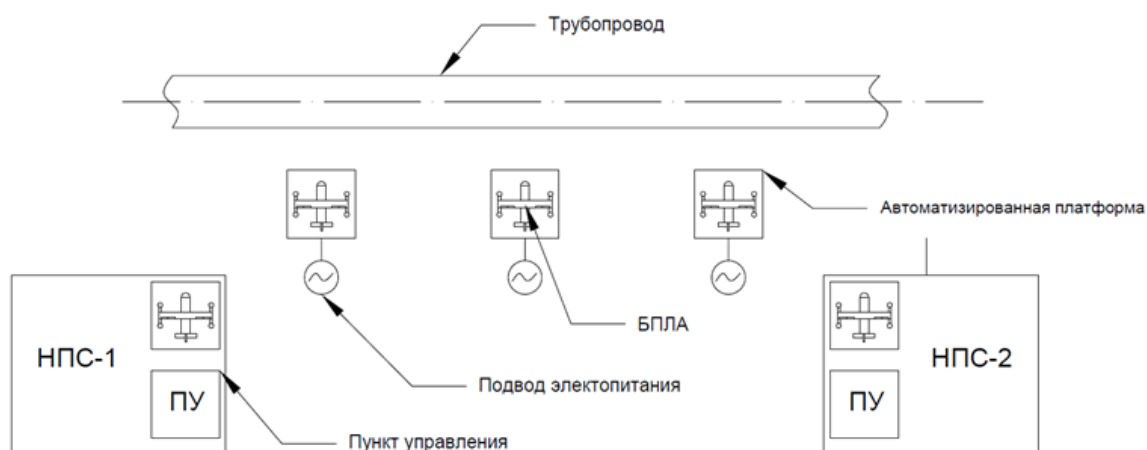


Рисунок 4. Компонировка оборудования для обеспечения автоматической инспекции

Figure 4. Equipment layout for automatic inspection

Таблица 1. Сравнение методов инспекции

Table 1. Comparison of inspection methods

	БПЛА с платформой	БПЛА	Вертолет (Ми-8АМТ) [17]
Время полета, мин	45	45	-
Дальность, км	75	75	590
Скорость полета, км/ч	100	100	230
Участие человека	Автоматический режим / оператор БПЛА	Автоматический режим / оператор БПЛА	Квалифицированный пилот

БПЛА, снаряженный камерами, работающими в RGB и инфракрасном диапазонах, с автоматизированной взлетно-посадочной платформой позволит проводить мониторинг объектов нефти и газа с максимально доступной на сегодняшний день автоматизацией

процесса, практически исключая человеческий фактор.

Особенно эффективным будет применение дронов в труднодоступных местах для инспекции, таких как горная и болотистая местность, высотные объекты (факельные уста-

новки) и объекты с повышенным риском для жизни оператора.

Возможности БПЛА с платформой в плане автоматизации значительно превосходят стандартное использование дронов с оператором. Так, к основным минусам использования дрона без платформы можно отнести:

- необходим человек, который будет управлять и обслуживать БПЛА;
- нельзя задать сценарии работы БПЛА, когда нет платформы, которая будет отправной точкой;
- если длительность выполняемой миссии превосходит возможности по продолжительности полета БПЛА, необходимо возвращать дрон и перезаряжать батарею (актуально для линейных объектов);
- расставленные вдоль трубопровода (пустые укрытия) позволяют одним БПЛА инспектировать участок линейной части в радиусе приема радиосигнала, что значительно превосходит дальность полета БПЛА без платформ.

Конструкция укрытия для БПЛА

Конструкция укрытия (рисунок 5) представляет собой сборку из следующих основных узлов (рисунок 6).

Так как БПЛА с помощью электроники не может приземлиться точно на контакты для зарядки, необходим центратор (рисунок 7).

Центратор состоит из двух шариковинтовых сборок, на каждой из которых по две гайки с креплением для перекладин, которые и центруют БПЛА точно по центру.

Платформа (рисунок 8) необходима для поднятия БПЛА из укрытия перед взлетом, чтобы последний мог разложить крылья, не задев корпус.

Привод платформы выполнен на пневмоцилиндрах.

Блок электроники (рисунок 9) включает в себя блок питания и блок управления, которые подключены к устройствам механизации, телеметрии, климат контроля и связи.

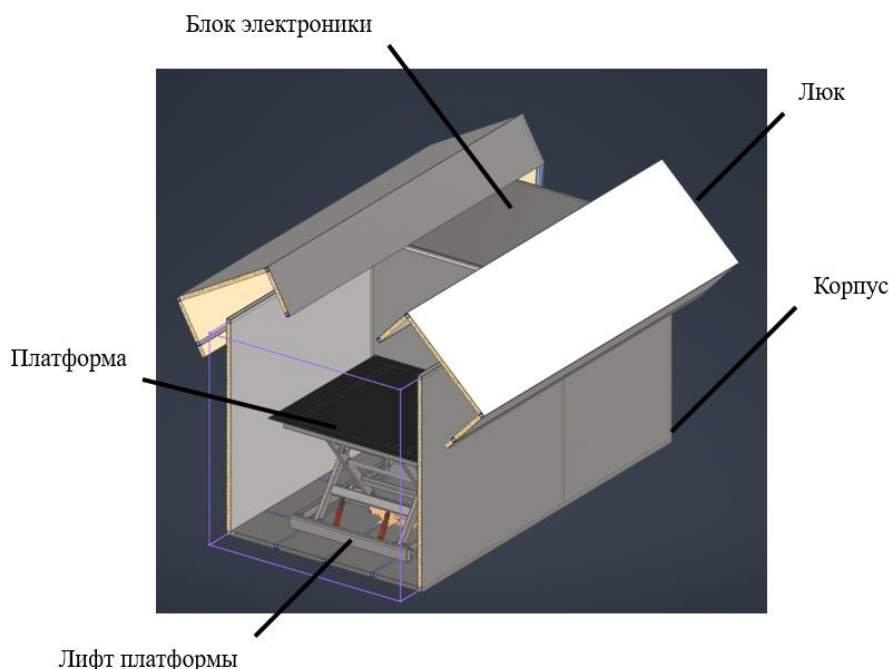


Рисунок 5. Общий вид

Figure 5. General view

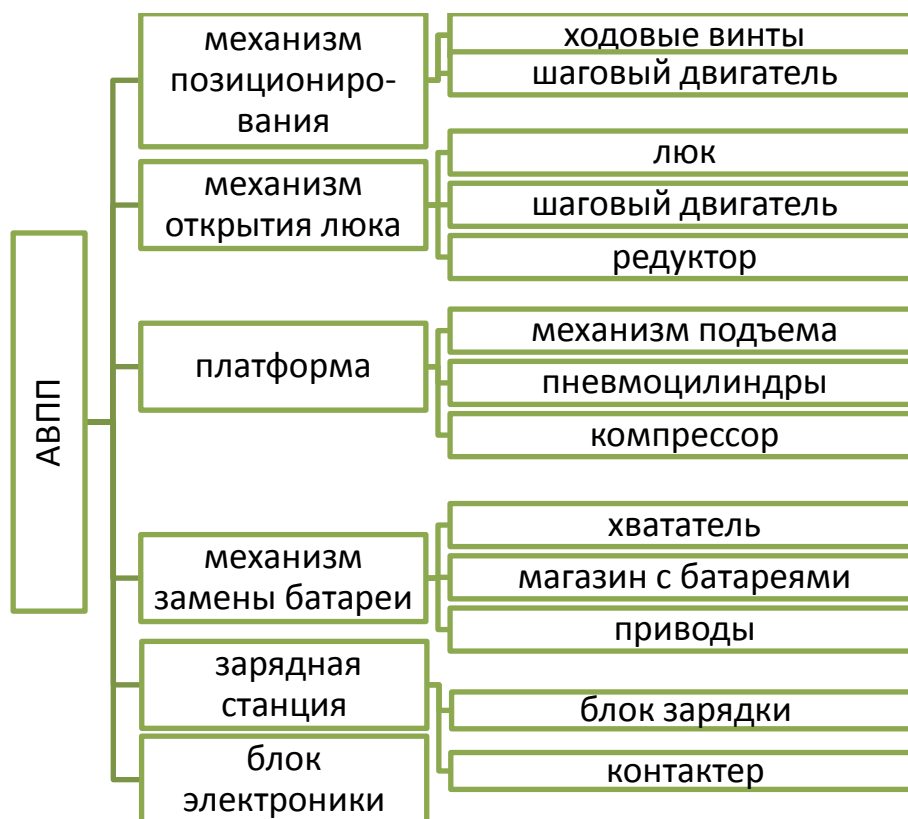


Рисунок 6. Этапы проектирования платформы

Figure 6. Stages of platform design

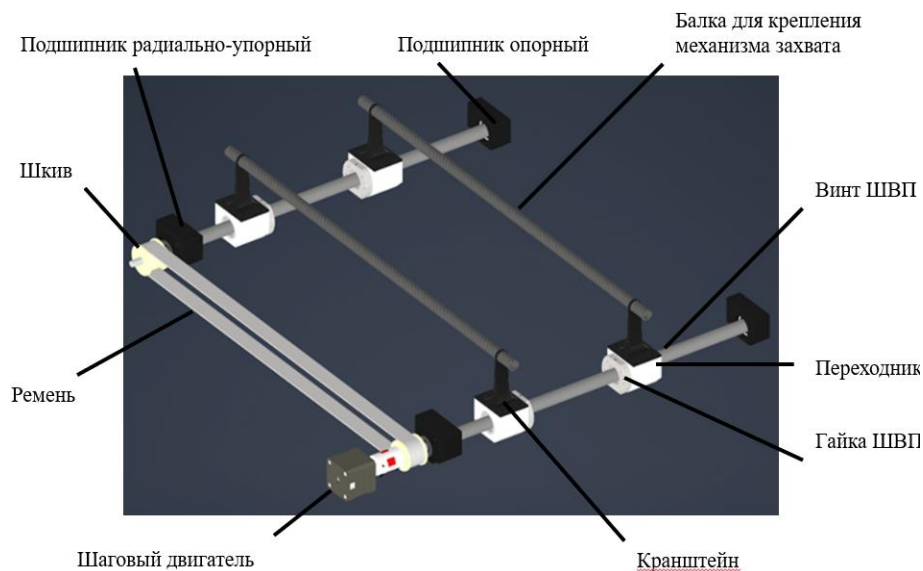


Рисунок 7. Конструкция центратора

Picture 7. Centralizer design

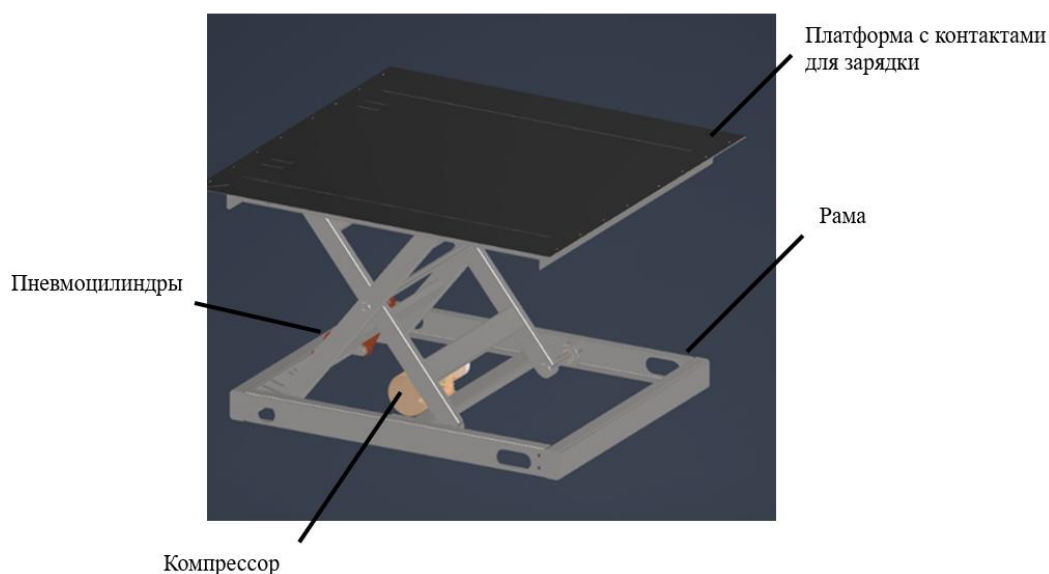


Рисунок 8. Конструкция платформы

Figure 8. Platform design

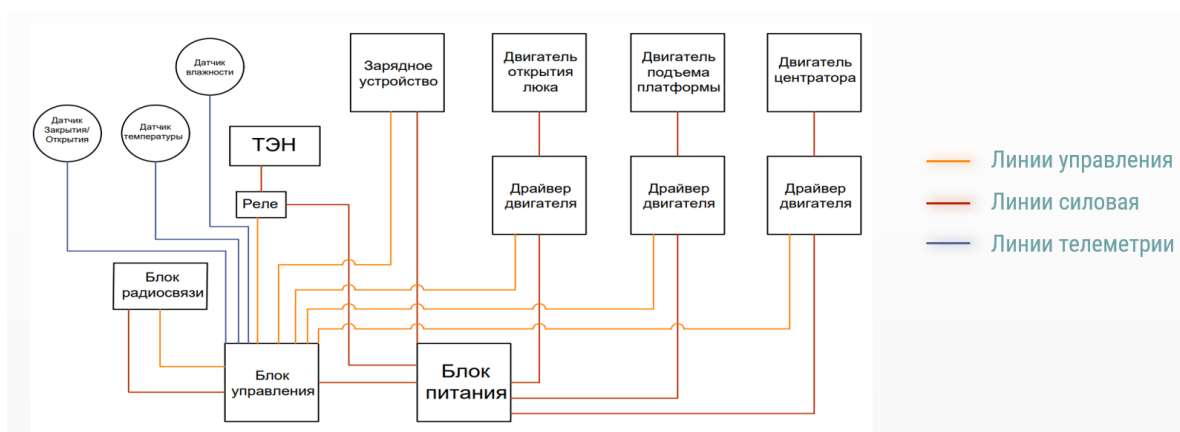


Рисунок 9. Блок электроники

Figure 9. Electronics block

Выводы

Наилучшим образом БПЛА с платформой проявит себя в условиях горной и болотистой местности, где человеку тяжело проводить осмотр или инспекцию трубопровода, а вертолет является дорогим и менее оперативным способом инспекции.

Также во время разгерметизации надземных трубопроводов или подводных переходов БПЛА с платформой позволит локализовать место утечки более оперативно, чем вертолет или оператор с дроном, следовательно, обеспечит сохранность окружающей среды.

Список источников

1. Drones: Ensuring Cost-Effective Maintenance of Oil and Gas Pipelines // World Economic Forum. URL: <https://www.weforum.org/whitepapers/drones-ensuring-cost-effective-maintenance-of-oil-and-gas-pipelines/> (дата обращения: 18.04.2023).
2. Radiansyah S., Kusriani M.D., Prasetyo L.B. Quadcopter Applications for Wildlife Monitoring // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 54. Article No. 012066. DOI: 10.1088/1755-1315/54/1/012066.
3. Townsend A., Jiya I.N., Martinson C., Bessarabov D., Gouws R. A Comprehensive Review of Energy Sources for Unmanned Aerial Vehicles, Their Shortfalls and Opportunities for Improvements // Heliyon. 2020. Vol. 6. Article No. e05285. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05285.
4. Hassija V., Saxena V., Chamola V. Scheduling Drone Charging for Multi-Drone Network Based on Consensus Time-Stamp and Game Theory // Computer Communications. 2020. Vol. 149. P. 51-61. DOI: 10.1016/j.comcom.2019.09.021.
5. Mostafa T.M., Muharam A., Hattori R. Wireless Battery Charging System for Drones Via Capacitive Power Transfer // Proceedings of the 2017 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW). Chongqing, China. 2017. P. 1-6. DOI: 10.1109/WoW.2017.7959357.
6. Junaid A.B., Lee Y., Kim Y. Design and Implementation of Autonomous Wireless Charging Station for Rotary-Wing UAVs // Aerospace Science and Technology. 2016. Vol. 54. P. 253-266. DOI: 10.1016/j.ast.2016.04.023.
7. Junaid A.B., Konoiko A., Zweiri Y., Sahinkaya M.N., Seneviratne L. Autonomous Wireless Self-Charging for Multi-Rotor Unmanned Aerial Vehicles // Energies. 2017. Vol. 10. Article No. 803. DOI: 10.3390/en10060803.
8. Mourgelas C., Kokkinos S., Milidonis A., Voyiatzis I. Autonomous Drone Charging Stations: A Survey // Proceedings of the PCI 24 Pan-Hellenic Conference on Informatic. Athens, Greece. 2020. P. 233-236. DOI: 10.1145/3437120.3437314.
9. Mulgaonkar Y., Kumar V. Autonomous Charging to Enable Long-Endurance Missions for Small Aerial Robots // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. Bellingham, WA, USA. 2014. Vol. 9083. P. 404-418. DOI: 10.1117/12.2051111.
10. Cocchioni F., Pierfelice V., Benini A., Mancini A., Frontoni E., Zingaretti P., Ippoliti G., Longhi S. Unmanned Ground and Aerial Vehicles in Extended Range Indoor and Outdoor Missions // Proceedings of the 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). Orlando, FL, USA. 2014. P. 374-382. DOI: 10.1109/ICUAS.2014.6842276.
11. Ahmad Shah S., Hamid S., Liyana N., Norhashim N., Sahwee Z., Rafael A., Zolkifli I. Experimental Evaluation of Solar Charge Controller Installed in a Solar-Powered Unmanned Aerial Vehicle (UAV) // Defence S and T Technical Bulletin. 2021. Vol. 14. P. 198-210.

References

1. Drones: Ensuring Cost-Effective Maintenance of Oil and Gas Pipelines. *World Economic Forum*. Available at: <https://www.weforum.org/whitepapers/drones-ensuring-cost-effective-maintenance-of-oil-and-gas-pipelines/> (accessed 18.04.2023).
2. Radiansyah S., Kusriani M.D., Prasetyo L.B. Quadcopter Applications for Wildlife Monitoring. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2017, Vol. 54, Article No. 012066. DOI: 10.1088/1755-1315/54/1/012066.
3. Townsend A., Jiya I.N., Martinson C., Bessarabov D., Gouws R. A Comprehensive Review of Energy Sources for Unmanned Aerial Vehicles, Their Shortfalls and Opportunities for Improvements. *Heliyon*, 2020, Vol. 6, Article No. e05285. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05285.
4. Hassija V., Saxena V., Chamola V. Scheduling Drone Charging for Multi-Drone Network Based on Consensus Time-Stamp and Game Theory. *Computer Communications*, 2020, Vol. 149, pp. 51-61. DOI: 10.1016/j.comcom.2019.09.021.
5. Mostafa T.M., Muharam A., Hattori R. Wireless Battery Charging System for Drones Via Capacitive Power Transfer. *Proceedings of the 2017 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW)*. Chongqing, China, 2017, pp. 1-6. DOI: 10.1109/WoW.2017.7959357.
6. Junaid A.B., Lee Y., Kim Y. Design and Implementation of Autonomous Wireless Charging Station for Rotary-Wing UAVs. *Aerospace Science and Technology*, 2016, Vol. 54, pp. 253-266. DOI: 10.1016/j.ast.2016.04.023.
7. Junaid A.B., Konoiko A., Zweiri Y., Sahinkaya M.N., Seneviratne L. Autonomous Wireless Self-Charging for Multi-Rotor Unmanned Aerial Vehicles. *Energies*, 2017, Vol. 10, Article No. 803. DOI: 10.3390/en10060803.
8. Mourgelas C., Kokkinos S., Milidonis A., Voyiatzis I. Autonomous Drone Charging Stations: A Survey. *Proceedings of the PCI 24 Pan-Hellenic Conference on Informatic*. Athens, Greece, 2020, pp. 233-236. DOI: 10.1145/3437120.3437314.
9. Mulgaonkar Y., Kumar V. Autonomous Charging to Enable Long-Endurance Missions for Small Aerial Robots. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. Bellingham, WA, USA, 2014, Vol. 9083, pp. 404-418. DOI: 10.1117/12.2051111.
10. Cocchioni F., Pierfelice V., Benini A., Mancini A., Frontoni E., Zingaretti P., Ippoliti G., Longhi S. Unmanned Ground and Aerial Vehicles in Extended Range Indoor and Outdoor Missions. *Proceedings of the 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*. Orlando, FL, USA, 2014, pp. 374-382. DOI: 10.1109/ICUAS.2014.6842276.
11. Ahmad Shah S., Hamid S., Liyana N., Norhashim N., Sahwee Z., Rafael A., Zolkifli I. Experimental Evaluation of Solar Charge Controller Installed in a Solar-Powered Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Defence S and T Technical Bulletin*, 2021, Vol. 14, pp. 198-210.

12. Беспилотное будущее газовой отрасли. Как еще сегодня применяются дроны в ТЭК? // Skymec. 11.07.2022. URL: <https://skymec.ru/blog/drone-use-cases/promyshlennost/primenenie-dronov-v-tek/> (дата обращения: 18.04.2023).

13. «РН-Юганскнефтегаз» расширяет географию полетов беспилотников // Роснефть. 27.01.2017. URL: <https://www.rosneft.ru/press/news/item/185447/> (дата обращения: 18.04.2023).

14. Как используются беспилотные летательные аппараты в нефтегазовой отрасли // Палюр. 21.05.2017. URL: <https://rgk-palur.ru/bpla-dron-bespilotnik-foto-oil-gas-neftegazovoj-promyshlennosti/> (дата обращения: 18.04.2023).

15. Официальный сайт ГК «Беспилотные системы». URL: <https://supercam.aero/> (дата обращения: 18.04.2023).

16. Пат. 2704771 РФ, МПК В 64 С 27/22. Летательный аппарат, выполненный с возможностью вертикального взлета / Х. Нидцбалла. 2016102944, Заявлено 29.01.2016; Оpubл. 30.10.2019. Бюл. 31.

17. Описание модели МИ-8 АМТ, МТВ // ПАНХ. URL: [https://panh.ru/park-tehniki/mi-8-\(amtmtv\)](https://panh.ru/park-tehniki/mi-8-(amtmtv)) (дата обращения: 18.04.2023).

12. Беспилотное будущее газовой отрасли. Как еще сегодня применяются дроны в ТЭК? [The Unmanned Future of the Gas Industry. How are Drones Used in the Fuel and Energy Complex Today?]. Skymec. 11.07.2022. Available at: <https://skymec.ru/blog/drone-use-cases/promyshlennost/primenenie-dronov-v-tek/> (accessed 18.04.2023). [in Russian].

13. «RN-Yuganskneftegaz» rasshiraet geografiyu poletov bespilotnikov [RN-Yuganskneftegaz Expands the Geography of Drone Flights]. Rosneft'. 27.01.2017. Available at: <https://www.rosneft.ru/press/news/item/185447/> (accessed 18.04.2023). [in Russian].

14. Kak ispol'zuyutsya bespilotnye letatel'nye apparaty v neftegazovoi otrasli [How Drones are Used in the Oil and Gas Industry]. Palyur. 21.05.2017. Available at: <https://rgk-palur.ru/bpla-dron-bespilotnik-foto-oil-gas-neftegazovoj-promyshlennosti/> (accessed 18.04.2023). [in Russian].

15. Ofitsial'nyi sait GK «Bespilotnye sistemy» [Official Website of the Group of Companies «Unmanned Systems»]. Available at: <https://supercam.aero/> (accessed 18.04.2023). [in Russian].

16. Nidtsballa Kh. Letatel'nyi apparat, vypolnennyi s vozmozhnost'yu vertikal'nogo vzleta [An Aircraft Capable of Vertical Takeoff]. Patent RF, No. 2704771, 2019. [in Russian].

17. Opisaniye modeli MI-8 AMT, MTV [Description of the Model MI-8 AMT, MTV]. PANKh. Available at: [https://panh.ru/park-tehniki/mi-8-\(amtmtv\)](https://panh.ru/park-tehniki/mi-8-(amtmtv)) (accessed 18.04.2023). [in Russian].

Информация об авторах

• Шадренкин Павел Васильевич
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Магистрант кафедры «Гидрогазодинамика
трубопроводных систем и гидромашины»
Россия, 450064, Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: 99paha@mail.ru

• Токарев Артем Павлович, кандидат технических наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Гидрогазодинамика
трубопроводных систем и гидромашины»
Россия, 450064, Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: art-tokarev@yandex.ru

Information about the authors

• Shadrenkin Pavel V.
Ufa State Petroleum Technological University
Undergraduate Student of Fluid-Gas Dynamics
of Pipeline Systems and Hydraulic Machines
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: 99paha@mail.ru

• Tokarev Artem P., Candidate of Engineering Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Fluid-Gas Dynamics
of Pipeline Systems and Hydraulic Machines
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: art-tokarev@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 23.03.2023; одобрена после рецензирования 17.04.2023; принята к публикации 10.05.2023.

The article was submitted 23.03.2023; approved after reviewing 17.04.2023; accepted for publication 10.05.2023.