

УДК 69.059.14:  
[629.734-519:681.513.5]

**Козлова Анна Евгеньевна,**  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,  
аспирант  
kozlova-ann99@yandex.ru

**Логунова Оксана Сергеевна,**  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», д-р.  
техн. наук, профессор, зав. каф. ВТиП  
logunova66@mail.ru

**Наркевич Михаил Юрьевич,**  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», д-р.  
р. техн. наук, доцент, зав. каф. ПиГС  
narkevich\_mu@mail.ru

**Козлова Анна Евгеньевна,**  
«Г. И. Носов атындагы МГУ»  
федералдык мамлекеттик бюджеттин  
жогорку окуу жайынын аспиранты  
**Логунова Оксана Сергеевна,**  
«Г. И. Носов атындагы МГУ»  
федералдык мамлекеттик бюджеттик жогорку окуу жайы,  
техника илимдеринин доктору, профессор,  
компьютердик технологиялар жана прикладдык математика  
кафедрасынын башчысы

**Наркевич Михаил Юрьевич,**  
«Г. И. Носов атындагы МГУ»  
федералдык мамлекеттик бюджеттик жогорку окуу жайы,  
техника илимдеринин доктору, доцент, кафедра  
башчысы

**Kozlova Anna Evgenievna,**  
Federal State Budgetary Educational Institution  
of Higher Education "MSTU named after G.I. Nosov",  
Postgraduate Student

**Logunova Oksana Sergeevna,**  
Federal State Budgetary Educational Institution  
of Higher Education "MSTU named after G.I. Nosov",  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the Department of Computer Technologies  
and Applied Mathematics

**Narkevich Mikhail Yuryevich,**  
Federal State Budgetary Educational Institution  
of Higher Education "MSTU named after G.I. Nosov",

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department of PiGS

**АЛГОРИТМ СБОРА ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА ЗА ТЕХНИЧЕСКИМ  
СОСТОЯНИЕМ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

**ЗЫЯНДУУ ӨНУДРҮШТҮК ОБЪЕКТТИЛЕРДИН ТЕХНИКАЛЫК АБАЛЫНА  
АВТОМАТТАШТЫРЫЛГАН КӨЗӨМӨЛ БЕРҮҮ СИСТЕМАСЫНА МААЛЫМАТ  
ЖЫЙНОО АЛГОРИТМИ**

**ALGORITHM FOR COLLECTING INFORMATION IN THE SYSTEM OF  
AUTOMATED MONITORING OF THE TECHNICAL CONDITION OF HAZARDOUS  
INDUSTRIAL FACILITIES**

---

**Аннотация:** В работе рассматривается алгоритм сбора информации о техническом состоянии зданий и сооружений на опасных производственных предприятиях с использованием беспилотного летательного аппарата. В основу данного алгоритма входит решение задачи построения и оптимизации траектории полёта беспилотного летательного аппарата. Задача оптимизации траектории полёта рассматривается в рамках задачи коммивояжера, также учитываются погодные условия и наличие препятствий в зоне исследования. Данный алгоритм является частью системы по интеллектуальной поддержке при оценке технического состояния зданий и сооружений на опасных производственных объектах.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, оптимальная траектория полёта, опасные производственные объекты, сбор информации, автоматизация.

**Аннотациясы.** Бул эмгекте кооптуу өндүрүштүк объектилердин техникалык абалына мониторингдин автоматташтырылган системасында маалымат чогултуу алгоритми каралат. Теманын актуалдуулугу МИФтин ишинин ишенимдүүлүгүн жана коопсуздугун жогорулатуу зарылчылыгы менен шартталган, бул алардын техникалык абалынын өзгөрүшүн өз убагында аныктоону жана талдоону талап кылат. Мониторинг системасынын структурасы, сенсорлор, алдын ала иштетүү модулдары жана борбордук башкаруу блогунун ортосундагы өз ара аракеттенүү принциптери баяндалат. Маалыматты чогултуу алгоритмине өзгөчө көңүл бурулат, анын ичинде параметрди каттоо, чыпкалоо, баштапкы иштетүү жана реалдуу убакыт режиминде маалыматтарды берүү этаптары. Алгоритмдин ишенимдүүлүгүнө, ылдамдыгына жана тактыгына талаптар берилген. Сунушталган ыкманы өнөр жай коопсуздугунун системаларында колдонуунун келечеги, анын ичинде болжолдуу аналитика жана чечимдерди кабыл алуу системалары менен интеграция каралат.

**Негизги сөздөр.** Мониторинг, алгоритм, кооптуу өндүрүш объектилери, учкучсуз учуучу аппараттар, учуу картасы.

**Abstract.** This paper considers an algorithm for collecting information in an automated monitoring system for the technical condition of hazardous industrial facilities (HIFs). The relevance of the topic is due to the need to improve the reliability and safety of HIF operation,

*which requires timely detection and analysis of changes in their technical condition. The structure of the monitoring system, the principles of interaction between sensors, pre-processing modules and the central control unit are described. Particular attention is paid to the algorithm for collecting information, including the stages of parameter registration, filtering, primary processing and data transmission in real time. Requirements for the reliability, speed and accuracy of the algorithm are given. The prospects for applying the proposed approach in industrial safety systems are considered, including integration with predictive analytics and decision-making systems.*

**Keywords.** *Monitoring, algorithm, hazardous industrial facilities, unmanned aerial vehicles, flight map.*

---

### **Элементы визуализации при обследовании опасных производственных объектов.**

Индустриализация общества и спрос на новые технологии привели к масштабному процессу автоматизации во всех сферах человеческой жизни. Это явилось вызовом для использования современных технических средств сбора информации об объектах исследованиях. Данный аспект прежде всего затронул сферу дистанционного мониторинга за гражданскими, военными и промышленными объектами. Дистанционный мониторинг – это процесс сбора, анализа и использования информации об объекте или явлении с помощью технических устройств. В зависимости от области применения дистанционный мониторинг включает в себе наблюдение за природными ресурсами (лесами, водными объектами), экологическими параметрами окружающей среды, состоянием инфраструктуры (дорог, мостов), диагностика строительных объектов (например, мониторинг зданий и сооружений зданий промышленного и/или гражданского типа) и т.д. В случае дистанционного мониторинга за объектами используют такие технические средства, как: фото- и видеокамеры, датчики и сенсоры, сканеры и беспилотные летательные аппараты. Наибольшую популярность из вышеперечисленных средств сбора информации приобрели беспилотные летательные аппараты.

С целью определения объемов сегментов рынка БПЛА в России некоммерческой ассоциацией «Аэронекст» проведен анализ государственных и коммерческих закупок в области беспилотной авиации (233-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц», 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд») за 2018-2022 гг. На основе данного анализа распределение закупок в области БПЛА включает в себя следующие числовые показатели: безопасность, экстренная помощь – 45%; научная деятельность и исследования – 28%; логистика и транспорт – 10%; энергетический спектр – 8%; сельское хозяйство – 4%; строительство и горнодобывающая промышленность – 3%; медиа, развлечения, искусство и спорт – 2% [1].

В рамках работы рассматривается мониторинг зданий и сооружений опасных производственных объектов (ОПО). Нарушение требований промышленной безопасности на ОПО ежегодно приводит к авариям, несчастным случаям со смертельным исходом, тяжелым травмам. Согласно статистике Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору «Ростехнадзор», за девять месяцев 2022 года произошло 70 аварий на ОПО, в том числе 24 – со смертельным исходом. Также за этот период выявлено 97 тыс. нарушений обязательных требований промышленной безопасности. Одной из причин аварий на ОПО является эксплуатация объектов, имеющих повреждения. Для уменьшения количества аварий на ОПО необходимо проводить мониторинг технического состояния зданий и сооружений для обеспечения требований

промышленной безопасности, в том числе, систематического обследования технического состояния фасадов производственных зданий.

В 2021 году между Магнитогорским государственным техническим университетом им. Г.И. Носова и ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» заключен договор «Разработка и применение методик контроля территорий, зданий и сооружений ПАО «ММК» с использованием беспилотных воздушных судов (БВС)», результатом которого является WEB-приложение «ММК БВС-ОПО». В ходе реализации автоматизированной системы экспертной оценки авторами работы спроектирована и разработана прикладная цифровая платформа (ПЦП), включающая 10 программных модулей [2]. Исходными данными для работы программных модулей являются изображения элементов опасных производственных объектов, полученные с помощью технических средств, включая фотокамеры БПЛА, после применения методики формализации.

В 2022 году в рамках системы спроектирован модуль по построению карты полёта для определения траектории БПЛА при обследовании зданий и сооружений [3]. Полетная карта БПЛА предназначена для формирования маршрута движения дрона от одной точки к другой при исследовании определенной области. Полётная карта выстраивается на основе масштабной сетке и точек, выбранных пользователем на фотографии фасада исследуемого объекта.

Процесс создания полетной карты в системе «ММК БВС-ОПО» заключается в следующем: необходимо указать расстояние от объекта до камеры, угол раскрытия камеры, эквивалент формата [4], далее пользователь выбирает области, для которых необходимо произвести фиксирование информации. После чего траектория полёта БПЛА выстраивается последовательно по порядку выделения областей фиксирования информации.

Тестовым примером построения карты полёта является здания крупного металлургического предприятия. Результат построения полетной карты для обследования фасада данного здания представлен на рисунке 1. Спроектированная траектория полёта передается пилоту-исполнителю для дальнейшего выполнения полёта.



**Рисунок 1 – Результат работы модуля по построению полётной карты в системе «ММК БВС-ОПО»**

Эффективность использования Web-приложения для обследования зданий и сооружений на опасных производственных объектах, а также модуля по построению траектории полёта БПЛА заключается в экономии рабочего времени сотрудников, автоматизации процесса создания траектории полета БПЛА и своевременности получения информации о поставленной задаче и передачи полученных результатов на следующий этап работы. Наиболее важным аспектом из этих пунктов является автоматизация процесса создания полётной карты с оптимальной траекторией полёта, потому что с помощью программного модуля пользователю нужно лишь выбрать зоны, подлежащие исследованию, и система автоматически выстраивает траекторию, что упрощает процесс выполнения задания и сокращает время, которое потребовалось бы затратить для его выполнения.

**Формализация задачи по построению оптимальной траектории полёта.** Несмотря на автоматизации процесса создания полётной карты, спроектированный маршрут

необходимо оптимизировать с учетом временных затрат на полёт, технических характеристик летательного аппарата и количества точек фиксирования информации. Тем самым перед авторами статьи стоит задача в формализации и алгоритмизации задачи по оптимизации траектории полётной карты БПЛА.

Особенностями задачи является наличие ограничений, которые определены техническими возможностями БПЛА: скорость движения БПЛА; время автономной работы БПЛА в режиме полёта; время остановки БПЛА в точке фиксирования объекта; предельная высота полёта БПЛА; скорость горизонтального полёта БПЛА; максимальная скорость взлёта БПЛА; максимальная скорость снижения БПЛА; максимальная дальность полёта БПЛА.

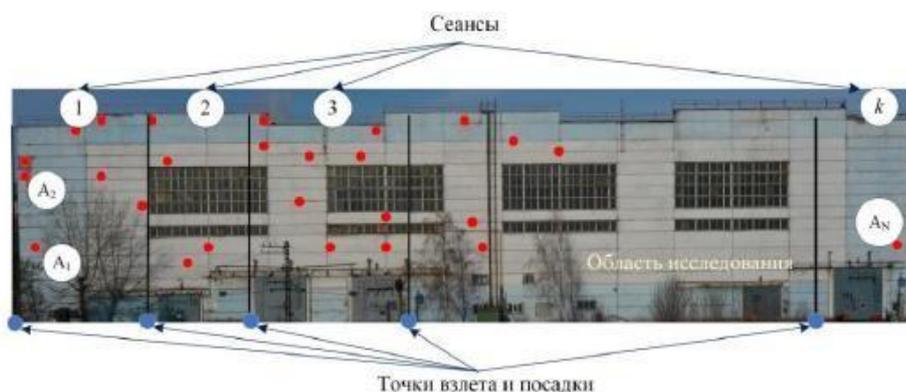
В проекте рассматривается полет БПЛА в четырех условиях:

- условия идеального полета без учета движения атмосферы и непрерывной области обследования;
- условия неидеального полета с учетом случайных компонентов, характеризующих направление и силу ветра;
- условия полета при наличии областей недоступных для движения аппарата из-за присутствия физических препятствий;
- условия движения аппарат с учетом движения атмосферы и наличия физических препятствий.

Критерием для поиска оптимальной траектории полёта БПЛА является требование: за минимальное количество времени БПЛА должен облететь максимальное количество точек на фасаде ОПО. Выдвижение этого требования приводит к получению сопутствующих результатов: сокращение количества взлетов и посадок БПЛА в ходе обследования одного фасада; сокращение количества разбиений непрерывной площади фасада здания на независимые области обследования; минимальные затраты энергии на выполнение обследования одного фасада.

Исходными данными решения задачи оптимизации траектории полёта БПЛА при фронтальном обследовании фасадов промышленных зданий являются: эталонные изображения фасадов промышленного здания; массив точек фиксирования информации; технические характеристики БПЛА. Анализ ситуации приводит к представлению траектории движения БПЛА в виде ориентированного взвешенного графа. Дуги графа имеют вес и обозначают расстояние от одной точки до другой. Для поиска оптимального пути с обходом всех вершин графа возможно использование модифицированного алгоритма решения задачи коммивояжера [5].

Для промежутка времени между взлетом и посадкой БПЛА введено понятие сеанса полета. В рамках каждого сеанса БПЛА может «посетить» все точки выбранной поверхности или только ее части. Учитывая, что представленные ограничения зависят от площади, фасад здания стоит разделить на области независимого исследования. Количество областей является неизвестным и формируется по мере облета выбранной площади. Пример схемы разбиения площади прямоугольного фасада на области исследования при построении оптимальной траектории полёта БПЛА представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Схема разбиения площади прямоугольного фасада на области исследования при построении оптимальной траектории полёта БПЛА**

На рисунке 2 введены обозначения:  $A_1, A_2, \dots, A_N$  – точки исследования,  $k$  – номер области исследования.

Опираясь на схему разбиения фасада здания, определяются следующие требования к задаче оптимизации: количество взлётов и посадок БПЛА должно быть минимальным; количество областей исследования должно быть минимальным; время на исследование каждой области стремится к минимуму; количество используемых электрических аккумуляторов должно быть минимальным.

Исходные данные задачи имеют аналитическую запись в виде:

1) произвольная замкнутая область полезной площади исследования  $D$ , сопоставимая с формой плоского фасада промышленного здания, и имеющая замкнутую границу  $L$ , которая описывается системой уравнений (1):

$$L = L_1|_{[a_0; a_1]} \cup L_2|_{[a_1; a_2]} \cup \dots \cup L_n|_{[a_n; a_0]}, \quad (1)$$

где  $L_i|_{[a_{i-1}; a_i]}$  – функция в плоскости фасада, описывающая границу  $i$ ;  $a_0$  – абсцисса точки для начала границы  $L$ ;  $n$  – количество границ, необходимых для описания области;

2) неупорядоченное конечное множество  $A$  точек для сбора информации, в которых происходит зависание БПЛА на время сбора информации, и принадлежащих области  $D$  (2):  $A = \{A_j(x_j, y_j)\}$ , (2)

где  $x_j$  и  $y_j$  – координаты заданных точек в выбранной системе координат, связанной с первой точкой взлета;  $j$  – номер точки в исходной области  $D$ ,  $j = \overline{1; N}$ ;  $N$  – количество исходных точек.

Требуется: построить кортеж динамических упорядоченных таксонов (кластеров), определяющих порядок обхода (облета) исходных точек (3):

$$B = \|B_k(\|A_{kj}(x_{kj}, y_{kj})\|)\|, \quad (3)$$

где  $B_k$  – таксон с порядковым номером  $k$ ,  $k = \overline{1; K}$ ;  $k$  – количество таксонов, определяемое динамически в ходе решения задачи, и заранее является неизвестным;  $\|A_{kj}(x_{kj}, y_{kj})\|$  – упорядоченный массив исходных точек, входящих в таксон  $k$ .

Построенный кортеж  $B$  должен удовлетворять условиям:

1) расстояние между любыми двумя точками исходного множества определяется по формуле Евклида и принимает значение равно весу ребра;

2) каждое ребро графа, определяемая как прямолинейная траектория движения БПЛА, разделяется на три участка: участок равноускоренного разгона, участок равномерного движения и участок равноускоренного торможения;

3) время, затрачиваемое на перелет из точки  $j$  в  $j+1$  складывается из четырех частей: время, затрачиваемое на ускорение –  $t_{ja+}$ ; время, затрачиваемое на торможение БПЛА –  $t_{ja-}$ ; время равномерного движения БПЛА –  $t_{jconst}$ ; время остановки БПЛА в точке фиксирования информации –  $t_{js}$ ;

4) итоговое время полета между точками определяется, как сумма из вышеприведенных частей (4):

$$t_j = t_{ja+} + t_{jconst} + t_{ja-} + t_{js}; \tag{4}$$

5) общее время, затрачиваемое на траекторию полёта внутри одного кластера равно (5):

$$T_k = \sum_{j=0}^{n_k} t_{jk}, \tag{5}$$

где  $t_{jk}$  – время, затрачиваемое на траекторию между точками  $j$  и  $j + 1$  внутри кластера  $k$ ;  $n_k$  – количество точек, вошедших в кластер  $k$ ;

6) общее время на обследование всего фасада в полете составляет (6):

$$T = \sum_{k=1}^K T_k = \sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^{n_k} t_{jk}. \tag{6}$$

Учитывая введенные обозначения, условия и описание ситуации получили, что множество точек для обследования являются вершинами взвешенного ориентированного графа, для которого требуется построить его динамическое разбиение на упорядоченные таксоны (7):

$$B = \{ \|B_k(\|A_{kj}(x_{kj}, y_{kj})\|)\|, k = \overline{1;K} \text{ и } j = \overline{0;n_k} \}. \tag{7}$$

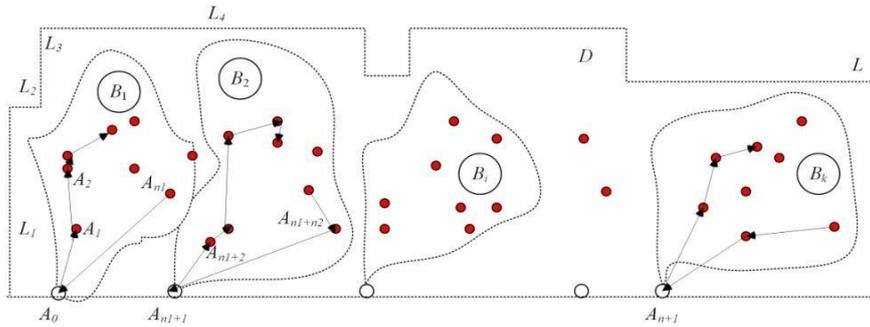
и для каждого таксона выполняется критерий (8):

$$T_k = \sum_{j=0}^{n_k} t_{jk} \rightarrow \min \tag{8}$$

или  $n_k \rightarrow \max$ .

Для указанных критериев для всего графа формируются критерии: количество упорядоченных таксонов должно быть минимальным:  $K \rightarrow \min$ .

Указанные целевые функции являются взаимосвязанными между собой. Поэтому достаточно найти один из вариантов решения. Открытие нового кластера определяется достижением предельного времени одного сеанса, который зависит от количества точек, включенных в упорядоченную траекторию полета. Эти взаимосвязи определяют особенности методов алгоритмов решения задачи оптимизации: поиска упорядоченных таксонов с максимальным количеством вершин графа (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Графическая интерпретация искомого решения задачи оптимизации траектории полета БПЛА**

На рисунке 3 введены обозначения:  $L_1, L_2, \dots, L_N$  – замкнутая граница фасада здания,  $B_1, B_2, \dots, B_k$  – кортеж динамических упорядоченных таксонов (кластеров),  $D$  – область исследования.

**Формализация задачи при неидеальных условиях полёта.** Как было описано ранее, неидеальными условиями полёта являются: воздействие погодных условий (ветер) и наличие препятствий в зоне исследования.

При учете возмущающих воздействий при ветреной погоде необходимо учитывать сопротивляемость БПЛА к ветру до определённой его скорости. Несмотря на возможность применения БПЛА в ветренную погоду, скорость движения летательного аппарата зависит от скорости ветра.

Скорость движение БПЛА и движение ветра принимают значения с учетом угла направления. Тем самым проекции скорости БПЛА по оси  $X$  и по оси  $Y$  принимает вид (9, 10):

$$U_{\text{БПЛА}_X} = U_k \cos \alpha \pm U_{\text{ветра}} \cos \beta, \quad (10)$$

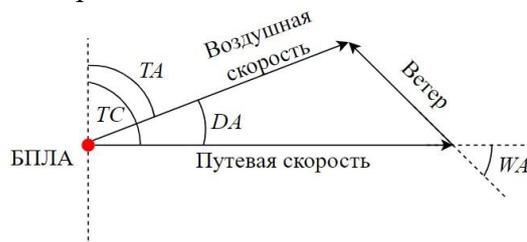
$$U_{\text{БПЛА}_Y} = U_k \sin \alpha \pm U_{\text{ветра}} \sin \beta. \quad (11)$$

Знак определяет направление ветра относительно направления движения БПЛА.

Также должен быть учтен боковой ветер, при котором земные БПЛА уходит от направления продольной оси летательного аппарата: влево – при ветре, дующем в левый борт БПЛА, вправо – при ветре, дующем в правый борт.

Действительное перемещение БПЛА, участвующего одновременно в двух движениях – вектор воздушной скорости и вектор ветра, направленные под углом друг к другу, происходит по диагонали параллелограмма, построенного на векторах этих движение. Получается навигационный треугольник скоростей.

Сторонами этого треугольника являются векторы воздушной скорости, скорости ветра и путевая скорость. Угол, составленный вектором воздушной скорости и вектором путевой скорости, называется углом сноса  $DA$  (*demolition angle*). Если летательный аппарата сносит вправо относительно направления полёта,  $DA$  принимает положительное значение, и наоборот. Если через основание навигационного треугольника провести меридиану, то получится ряд дополнительных навигационных элементов (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Навигационный треугольник скоростей, ориентированный относительно меридианы**

вычислить  $WA$  (12):

$$WA = NW - TC,$$

На рисунке 4 введены такие обозначения, как:

- $TA$  (*track angle*) – путевой угол самолета – угол, заключенный между северной частью меридиана и вектором путевой скорости или линией пути самолета;
- $TC$  (*true course*) – курс БПЛА – угол, заключенный между северной частью меридиана и вектором путевой скорости или линией пути самолёта;
- $WA$  (*wind angle*) – угол ветра – угол между линией пути и направлением ветра.

Для вычисления угла сноса и путевой скорости, необходимо

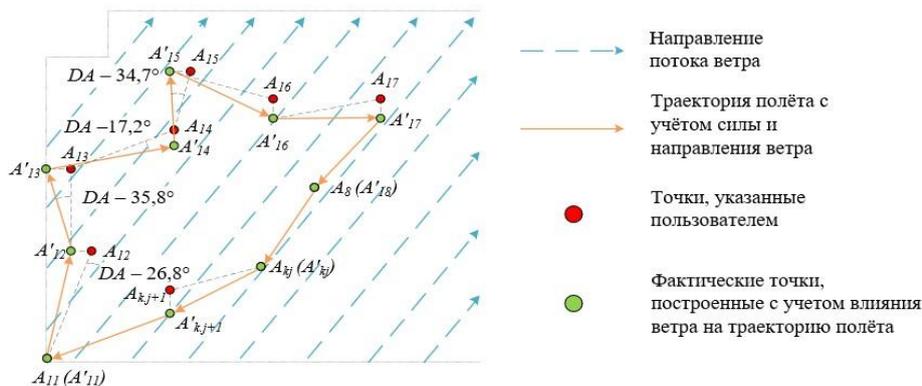
(12)

где  $NW$  (*navigational wind*) – навигационный ветер, который отличается от метеорологического на 180 градусов и на величину магнитного склонения.

С помощью теоремы синусов получаем формулу угла сноса (13):

$$DA = \arcsin\left(\frac{v_{\text{ветра}} \cdot \sin WA}{v_k}\right) \tag{13}$$

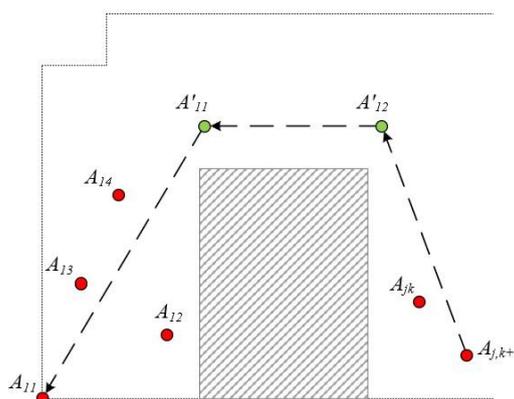
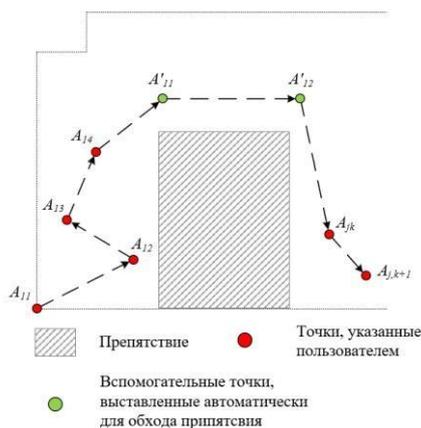
Учет направления и силы ветра для исходных данных означает введение поправки на координаты точек в соответствии с навигационным треугольником (рисунок 5).



**Рисунок 5 – Введенные поправки в траектории полёта БПЛА в неблагоприятных условиях в соответствии с расчетом навигационного треугольника и угла сноса**

На рисунке 5 введены обозначения:  $DA$  – угол сноса, градусы;  $A'_{11}, A'_{12}, \dots, A'_{kj}$  – фактическая точка, построенная с учётом влияния ветра на траекторию полёта летательного аппарата, где  $k$  – номер кортежа,  $j$  – номер точки в  $k$ -ом кортеже.

Кроме того, при построении траектории полёта необходимо учитывать наличие физических препятствий на траектории движения БПЛА, например, кроны деревьев, кустов. В данном случае беспилотный летательный аппарат должен обходить препятствия на определенном расстоянии, тем самым на карте полёта необходимо добавлять вспомогательные точки. При этом БПЛА требуется возвращать в изначальную точку взлёта по кратчайшей траектории полёта с учетом вспомогательных точек (рисунок 6-7).



**Рисунок 6 – Траектория полёта БПЛА с**

**обходом препятствия при учете вспомогательных точек**

**Рисунок 7 – Траектория для возвращения**

**БПЛА в точку взлёта**

На основе вышеописанного метода построения оптимальной траектории полёта и алгоритмизации, общая работа данного метода состоит из следующих этапов:

*Этап 1.* Определение объекта исследования. Пользователь выбирает из базы данных объект исследования, элемент и компонент исследования.

*Этап 2.* Определение исходных данных в интерактивном режиме. Пользователь заполняет форму, вводя технические характеристики используемой камеры на БПЛА, а также вводит данные о погодных условиях, если их необходимо учитывать при построении полётной карты.

*Этап 3.* Определение точек фиксирования информации в интерактивном режиме. Пользователь выбирает зоны исследования на представленной форме с фотографией исследуемого объекта и нанесенной масштабной сеткой.

*Этап 4.* Разбиение множества точек на кластеры и формирование сеансов полета. На данном этапе подсистема разбивает множество точек на кластеры, формируется количество сеансов, визуализируется траектория полёта внутри каждого сеанса, рассчитывается время, затрачиваемое на облет всех точек внутри каждого независимого исследования, и данное время сравнивается с константным значением, то есть с временем автономной работы БПЛА в режиме полёта. Первоначальное количество сеансов определяется путем деления времени, которое БПЛА тратит на облёт объекта исследования вдоль, двигаясь на минимальной скорости, на время работы аккумулятора.

*Этап 5.* Определения дополнительных точек облета. При воздействии погодных условий, а также при наличии в зоне исследования физических препятствий, подсистема предлагает пользователю дополнительные точки облёта.

*Этап 6.* Построение траектории полёта БПЛА. На основе разбиения множества точек на кластеры и добавлении дополнительных точек выстраивается траектория полёта.

*Этап 7.* Визуализация траектории полёта. Построенная траектория полёта принимает вид маршрута передвижения БПЛА от одной точки к другой.

*Этап 8.* Оптимизации траектории полёта БПЛА. На основе алгоритма коммивояжёра построенная траектория оптимизируется для минимизации времени на облет всех точек и фиксирования информации в данных точках.

*Этап 9.* Оптимизированная траектория полёта визуализируется и принимает вид полётной карты для дальнейшего осуществления полёта [6].

**Заключение.** В работе представлен и описан алгоритм сбора информации о техническом состоянии зданий и сооружений на ОПО с использованием БПЛА. Анализ областей применения беспилотных летательных аппаратов показал, что их использование упрощает и автоматизирует круг задач, которые решают с использованием визуализации данных. Одним из направлений деятельности промышленной безопасности является проведение экспертизы опасных промышленных объектов, при которой производится сбор визуальной информации с применением БПЛА. Использование технических средств, установленных на БПЛА для фотографирования внешних поверхностей объектов, позволяет сформировать базу данных изображений.

Также опираясь на характеристики БПЛА и ограничения при построении траектории полёта, поставлена задача по построению оптимальной траектории движения летательного аппарата для сбора информации о техническом состоянии

опасных производственных объектов. Формализация данной задачи рассматривается в четырех ситуациях: идеальные условия, влияние на полёт летательного аппарата неблагоприятных погодных условий, наличие в зоне исследования препятствия, влияние на БПЛА неблагоприятных погодных условий и наличие препятствий.

Для построения траектории полёта БПЛА при неблагоприятных условиях и наличии препятствий вводятся дополнительные точки в исходный массив. Эти «новые» точки включаются в траекторию полета и увеличивают время на обследование. При построении алгоритма движения БПЛА по оптимальной траектории желательным условием является исключение этих точек из выстраиваемых кластеров. Унифицированной будет считаться траектория полета БПЛА, в которой учтены и воздействия ветра, и дополнительные точки, позволяющие получить доступ на всю полезную площадь обследования.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ассоциация «Аэронекст» Аналитический отчет. По исследованию российского гражданского рынка беспилотных авиационных систем (БАС) // электрон. док. – 2023. – С. 9-11. – URL: [https://aeronext.aero/UserFiles/ContentFiles/2023-12-29\\_16-40-56\\_Отчет\\_Рынок%20БАС\\_2023\\_8.pdf](https://aeronext.aero/UserFiles/ContentFiles/2023-12-29_16-40-56_Отчет_Рынок%20БАС_2023_8.pdf). (дата обращения: 05.03.2025).
2. Наркевич М. Ю., Логунова О. С., Аркулис М. Б., Сагадатов А. И., Климов С. С., Кабанова В. В., Николаев А. А., Дерябин Д. И. Прикладная цифровая платформа для оценки динамики качества опасных производственных объектов на металлургическом предприятии: структура и алгоритмы // Вестник Череповецкого государственного университета, —№5(110), 2022, С. 29-48. – DOI 10.23859/1994-0637-2022-5-110-3.
3. 3. Элементы визуализации при обследовании опасных производственных объектов с использованием беспилотного летательного аппарата / А. Е. Козлова, М. Ю. Наркевич, О. С. Логунова, К. Е. Шахмаева // Научная визуализация. – 2023. – Т. 15, № 2. – С. 113-124. – DOI 10.26583/sv.15.2.10. – EDN NLDVKD.
4. Интеллектуальная система принятия решений при оценке качества зданий и сооружений на опасных производственных объектах: определение траектории движения беспилотного летательного аппарата / М. Ю. Наркевич, О. С. Логунова, В. Д. Корниенко [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2022. – Т. 20, № 1. – С. 50-60. – DOI 10.18503/19952732-2022-20-1-50-60. – EDN YTCRRK.
5. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта / О. С. Логунова, М. Ю. Наркевич, Е. А. Гарбар, А. Е. Козлова. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2024. – 102 с. – EDN KRFMSL.
6. Козлова, А. Е. Алгоритмизация системы по оптимизации траектории полёта беспилотного летательного аппарата обследовании зданий и сооружений / А. Е. Козлова // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 9-17. – EDN DUXVAG.