

БЕСПИЛОТНАЯ СИСТЕМА ПРОАКТИВНОГО МОНИТОРИНГА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Бурый А.С., д-р техн. наук, Российский институт стандартизации, г. Москва
Шевкунов М.А., соискатель, Российский институт стандартизации, г. Москва

Рассматриваются подходы к построению оптимальных маршрутов контроля распределенных на местности объектов на основе комплексирования беспилотных систем с транспортными сервисными платформами.

Целью исследования является интегрирование наземных транспортных платформ, характеризующихся заданными сценариями развертывания, и оптимизация на этой основе маршрутов движения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для повышения оперативности решения целевых задач и увеличения зоны обслуживания.

Методы: системный анализ динамических процессов с учетом свойств самоорганизации, адаптации и ситуационного управления беспилотными системами в задачах проактивного мониторинга распределенных объектов контроля; развитие методов многоуровневого планирования комплексных систем.

Результаты: обоснован концептуальный подход для организации построения интегрированных систем на основе комплексирования транспортных сервисных платформ и БПЛА в составе группы, сокращающий продолжительность мониторинга распределенных объектов в условиях технических отказов и ситуационной неопределенности контролируемых объектов.

Ключевые слова: проактивный мониторинг, беспилотный летательный аппарат (БПЛА), планирование маршрутов наземных транспортных платформ, информационно-логическое моделирование, маршрутизация групп БПЛА с учетом состояний.

Цитирование: Бурый А.С., Шевкунов М.А. Беспилотная система проактивного мониторинга распределенных объектов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 5 (86). С. 75–82.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие структурного анализа в вопросах комплексирования технических систем остается важным элементом технологического совершенствования современных информационно-технических комплексов. Число решаемых задач на базе беспилотной авиации постоянно увеличивается. Наиболее востребованными объектами мониторинга с привлечением беспилотных технологий выступают магистральные газопроводы (на этапе контроля состояния, выполнения ремонтных работ) [1], крупные транспортно-логистические центры, промышленные производства [2], объекты критической инфраструктуры [3], характеризующиеся высокой степенью территориальной распределенности, сложностью внутренних взаимосвязей и повышенными требованиями к безопасности и живучести. Управление такими системами требует постоянного или периодического мониторинга с заданным качеством [4] их состояния, что традиционными методами связано со значительными расходами сил и средств.

Современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) становятся важным инструментом для мониторинга окружающей среды, геоинформационного обеспечения [5], сбора актуальных данных, позволяя проводить регулярный или экстренный осмотр труднодоступных объектов.

БПЛА, как правило, оснащаются разнотипным функциональным оборудованием, обеспечивающим связь, наблюдение в различном диапазоне в рамках выполняемой целевой задачи, включая технологии на основе искусственного интеллекта [6, 7]. Речь может идти о системах компьютерного зрения, об алгоритмах управления группой БПЛА [8], об интеллектуальных аккумуляторных блоках и др. [9], а также о ближайшей перспективе активного применения интеллектуальных транспортных систем (ТС) [10], интегрирующих Интернет Вещей с Интернетом Машин или ТС по аналогии с сетевыми клиентскими системами [11], когда клиентами являются отдельные ТС.

Отметим, что исследования в области беспилотной авиации являются вкладом в развитие высокотехнологичных отраслей экономики и обеспечение технологического суверенитета Российской Федерации в соответствии со Стратегией развития беспилотной авиации Российской Федерации¹.

Эффективное использование групп БПЛА для мониторинга распределенных (масштабных) объектов влечет необходимость оптимального распределения задач между аппаратами [12], так как параллельное применение отдельных БПЛА приводит к перерасходу ресурсов, а в условиях временных ограничений это неприемлемо.

Для повышения эффективности мониторинга распределенных в пространстве объектов удается за счет комплексного использования транспортных платформ и БПЛА [13]. При этом транспортная платформа (ТП) может быть наземным или водным транспортным средством, оснащенным аппаратурой связи и управления, зарядной станцией, устройством запуска БПЛА и другим вспомогательным оборудованием, обеспечивая режим проактивного мониторинга объектов контроля зоны обслуживания [14]. Это позволяет оперативно прогнозировать возможное развитие обстановки, используя базу данных типовых сценариев (БДТС) взаимодействия ТП и БПЛА в составе группы [15, 16].

¹ Стратегия развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года, утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 июня 2023 г. № 1630-р.

Целью исследования является интегрирование наземных транспортных платформ, характеризующихся заданными сценариями развертывания, и оптимизация на этой основе маршрутов движения беспилотных летательных аппаратов для повышения оперативности решения ими целевых задач и увеличения зоны обслуживания.

МОНИТОРИНГ, ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ СРЕДСТВ

Мониторинг – это процесс сбора, агрегирования и анализа данных для улучшения понимания характеристик и поведения компонентов системы (объектов наблюдения). Мониторинг на базе БПЛА применяется для широкого спектра задач во множестве разнообразных сфер человеческой деятельности, включая добычу, переработку и транспортировку природных ресурсов, строительство, промышленность, сельское хозяйство, природоохрану, безопасность, работы по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и многие другие.

Подбор типов БПЛА обычно осуществляют по ряду показателей, представленных в табл. 1. Решаемые целевые задачи определяют выбор навесного оборудования, которое согласуется с характеристиками самого БПЛА.

Организация проактивного мониторинга распределенных объектов требует разработки ряда методологических и методических подходов для поддержания динамических процессов, самоорганизации и адаптации сложных объектов контроля [14]. При этом основной упор современных ин-

Таблица 1

Основные технические характеристики БПЛА для видеонаблюдения*

Характеристики	Квадрокоптер «Геоскан 801»	Supercam S350	Геоскан 201 Видео
Взлетная масса	1,5 кг	9,5–15 кг	8,5 кг
Продолжительность полета	40 мин.	4–5 час	3 ч
Дальность радиосвязи	10 км	70 км	60 км - видео
Частотный диапазон радиосвязи	2,1–2,4 ГГц	–	–
Рабочая высота полета	50–500 м	50–1500 м	100–4000 м
Максимальная высота полета	500 м	6000 м	От 100 м
Максимальная высота полета (абсолютная)	4000 м	6000 м	4000 м
Максимальная протяженность маршрута	30 км	≥ 360 км	210 км
Скорость, км/час	54	65–120	80
Диапазон рабочих температур	–20 ... +40 °С	–30... +30 °С	–20 ... +40 °С
Максимально допустимая скорость ветра	12 м/с	до 15 м/с	12 м/с
Размеры БВС в собранном состоянии	53x59x11 см	3,5–3,2 м	2,22 м
Умеренный дождь, снегопад	–	да	–

*Смирнов А.В. Обзор беспилотных летательных аппаратов URL: <https://racurs.ru/press-center/articles/bespilotnye-letatelnye-apparaty/UAV-review/> (дата обращения: 25.08.2025).

формационных технологий делается на разработку интеллектуальных систем управления, на базе которых удастся «сузить» разнообразие внешней среды, комплексно решая задачи координации, прогноза, аппроксимации, интеллектуального анализа данных, позволяя в реальном масштабе времени оценивать ситуацию, обеспечивая необходимую оперативность принятия решений.

Таким образом, за счет включения в общую структуру мониторинга сложной распределенной системы беспилотных летательных аппаратов, объединенных с транспортными платформами, удалось получить эффект эмерджентности, когда проактивный мониторинг обеспечивает функцию самоорганизации контролируемого объекта, предотвращая аварийные ситуации.

Для повышения интеллектуальности систем наблюдения и мониторинга на основе БПЛА важную роль играют такие ключевые технологии, как искусственный интеллект, машинное обучение, периферийные вычисления [17], облачные вычисления и методы цветового картографирования. Вместе эти технологии обеспечивают расширенную обработку данных, принятие решений и анализ в режиме реального времени. Краткое описание этих критически важных технологий и методов, а также соответствующих архитектур для эффективного наблюдения и мониторинга на основе БПЛА представлено в таблице 2 [18].

Проактивный мониторинг следует разделить на этапы [3]:

- 1) сбор и организация хранения данных от объектов мониторинга с требуемой дискретностью;
- 2) предварительная обработка данных с целью их стандартизации и подготовки к применению методов машинного обучения;

- 3) решение задачи классификации текущего состояния;
- 4) интерпретация результатов.

Благодаря обширным ресурсам периферийных серверов данные с БПЛА могут анализироваться по мере их получения. Обработка данных локально или вблизи БПЛА сводит к минимуму время, необходимое для передачи данных на централизованный сервер и получения ответа.

На практике задача принятия решения в условиях ряда ограничений усложняется наличием неопределенности априорных данных и размытостью прогноза априорных данных на этапе подлета для выполнения контрольных функций. Крупномасштабный характер применения БПЛА, размытость и нечеткость формулирования задания: например, «провести комплекс мероприятий в зоне стихийного бедствия с максимальной эффективностью» [6], – также могут быть учтены путем применения интеллектуальных систем.

ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ СЦЕНАРИЕВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Динамику функционирования ТП будем представлять в виде набора задач, решаемых в контрольных точках (узлах маршрута):

$$M^{\text{ТП}} = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_K\}, \quad (1)$$

где Z_k – задачи, выполняемые в узлах маршрута ТП, $k = \overline{1, K}$, а K – общее число узлов маршрута ТП. Так в узле I осуществляется только подготовка к запуску и запуск БПЛА – A_1 , т.е. $Z^I = \{Z_1, Z_2\}$ например, в узле II , кроме указанных задач начального узла, добавляются задачи посадки БПЛА, зарядки и замены блоков питания, замены при необходимости аппаратуры наблюдения и ряд других, т.е. $Z^{II} = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_k\}$. На рис. 1 условно показано, что в узле II , осуществляются

Таблица 2

Ключевые технологии, приемы и архитектуры, позволяющие осуществлять наблюдение и мониторинг с помощью БПЛА

«Техника» / «Архитектура»	Подразделы
Искусственный интеллект и генетическая инженерия	Обнаружение объектов, распознавание и анализ местности
	Возможности обучения без присмотра и с подкреплением
	Генетические алгоритмы и задачи коммивояжера, зависящие от времени
Облачные и периферийные (граничные) вычисления	Роли периферийных и облачных вычислений
	Синергетические роли периферийных и облачных вычислений
Определение динамических характеристик объектов	Технология, основанная на цветовой или тепловой карте
	Архитектура, основанная на сотрудничестве
Архитектура БПЛА для наблюдения и мониторинга	Независимая или некомуникабельная архитектура
	Кооперативная архитектура
	Архитектура, основанная на местоположении управления и обработки данных

запуски трех БПЛА (A_1, A_2, A_3), каждый из которых выполняет задачу в своих контрольных точках или может продолжать обслуживать любую из предыдущих точек (см., например, миссию БПЛА A_2). Последующие узлы маршрута ТП во многом повторяют задачи, решаемые в узле Z^l .

В процессе движения ТП осуществляется контроль и оперативное управление прохождением маршрута БПЛА, при необходимости решаются задачи перепланирования целей с учетом технического состояния БПЛА [12].

В зависимости от решаемых задач беспилотной системой мониторинга, зоны обслуживания, оперативной обстановки, различных формальных характеристик для формирования маршрута движения транспортной платформы целесообразно применить сценарный подход [16], причем модельный мета набор зависит от ресурсных ограничений БПЛА, зоны обслуживания, оперативной обстановки и ряда других факторов. Однако даже в условиях существующей неопределенности будем рассматривать два типовых сценария из БДТС формирования маршрута движения ТП, на основе которых строится логика управления беспилотными летательными аппаратами:

- а) маршрут на основе циркуляции ТП, когда точка старта и финиша совмещены (рис. 1);
- б) маршрут с разнесенными точками старта и финиша ТП (рис. 2).

Второй сценарий наиболее характерен, например, при ликвидации последствий аварий или, например, когда ТП использует речной транспорт для контроля обширных территорий, когда контролируемые участки составляют типовую программу контроля по заданной временной шкале и заранее «привязанными» точками стоянок ТП на интервале времени $[T_n, T_k]$ начала и окончания выполнения миссии. В конечной точке маршрута ТП все БПЛА завершают выполнение своих частных задач.

МАРШРУТИЗАЦИЯ БПЛА В ХОДЕ АВТОНОМНОГО ПОЛЕТА

Продолжая структурный синтез системы «транспортные платформы – беспилотные аппараты», на уровне функционально-логического представления будем рассматривать маршрут БПЛА по аналогии с (1) – в виде последовательности выполняемых функциональных задач:

$$M^{BT} = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_p, \dots, Y_L\}, \tag{2}$$

где $Y_l, l = \overline{1, L}$ – задачи целевого применения БПЛА, в которые, кроме видеонаблюдения и поиска характерных целей, входят задачи передачи данных, информационного

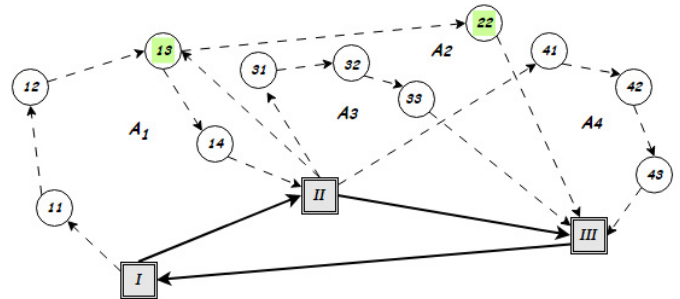


Рис. 1. Пример циркуляции ТП с возвращением в точку отправления: $A_1 - A_4$ – маршруты движения БПЛА; \square – узлы маршрута ТП; \circ – узлы маршрутов БПЛА

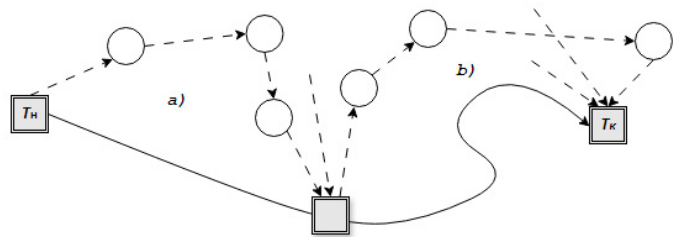


Рис. 2. Пример движения ТП без возвращения в исходную точку: а) и б) – типовые маршруты движения БПЛА

взаимодействия между БПЛА при выполнении задач в составе группы и другие.

Каждая задача Y_l включает ряд подзадач S_i и правил перехода P_i между задачами, определяемыми бортовым планировщиком БПЛА:

$$Y_l = \{S_l, P_l\}, \tag{3}$$

где множество S_l также может дробиться в соответствии с технологиями выполнения подзадачи на ряд единичных подзадач, число которых обозначим через c_r , причем дальнейшее дробление единичных задач не предусмотрено. Тогда

$$S_l = \{s_{l1}, s_{l2}, \dots, s_{lc_l}\} = \{s_{lr}\}, r = \overline{1, c_l}, \tag{4}$$

где атрибуты единичной задачи определяются заданным состоянием бортового планировщика \bar{P}_{lr} БПЛА и логикой возможных переходов между единичными подзадачами – P_{lr} , что представим, как

$$s_{lr} = \{\bar{P}_{lr}, P_{lr}\}.$$

Для некоторой подзадачи s_{lr} , например, фотосъемки наземных объектов, \bar{P}_{lr} может содержать их координаты, а P_{lr} –

последовательность выполнения съемки. На этом этапе не учитывается технологическое обеспечение задачи по оптимизации бортового оборудования, путем реконфигурации бортовых систем, парирования возникающих отказов и др. [12, 19].

Представленные типовые сценарии (см. рис. 1 и 2) соответствуют штатному процессу мониторинга. Количество сценариев значительно возрастает, когда от планового наблюдения за площадными зонами обслуживания (периодический контроль трубопроводных структур, энергетических линий передачи) переходят, например, к ликвидации последствий аварий, локализации лесных пожаров, когда возможны потери в составе группы БПЛА, потери информации, вследствие чего требуется оперативное перепланирование и повторное проведение съемки.

Сценарий проведения мониторинга для рассматриваемой системы ТП-БПЛА, с учетом выражений (1) и (2), представим в виде:

$$Sc^{(q)} = \begin{cases} M_q^{ТП} \{Z_{q1}, \dots, Z_{qe}\}, e = \overline{1, K}; \\ M_q^{БП} \{Y_{q1}, \dots, Y_{qw}\}, w = \overline{1, L}, \end{cases} \quad (5)$$

где $Sc^{(q)}$ – сценарий мониторинга, $q = \overline{1, Q}$ – номер сценария.

Если для ТП маршрутизация больше нацелена на обеспечивающие задачи (процессы подготовки, пуска, связи, контроля состояния БПЛА), то для системы мониторинга на базе БПЛА, при важности технического состояния бортового оборудования, основной акцент делается на выполнение целевой задачи – получение и доставка видеоданных о контролируемом объекте.

Таким образом, для целевых задач мониторинга анализируются информационно-логические структуры выполняемых операций в рассматриваемом сценарном пространстве [16], в котором модель представления маршрута $M_q^{БП}$ вида (5) уточняется, исходя из информационных задач, свойственных процессу мониторинга.

Получаемые данные в ходе решения задач мониторинга представим в виде:

$$D_{qw} = (Y_{qw}, Md_q^{БЗ}), \quad (5)$$

где D_{qw} – полученные данные в ходе выполнения i -й задачи по q -му сценарию, а $Md_q^{БЗ}$ – модель базы знаний для информационной поддержки выполнения q -го сценария, включая типовые настройки измерительной аппаратуры, учет метеорологической обстановки в районе наблюдения [20] и ряд других факторов управления, в частности правила переходов P_{ir} между единичными подзадачами в соответствии с выражениями (3) и (4).

Формирование массива данных D_{qw} осуществляется за счет измерительных функций бортовых аппаратных средств БПЛА. Однако для распределенных объектов, характеризующихся большой протяженностью, разнообразными режимами и диапазонами съемки, важной является интегрирующая функция, для объединения разнотипных данных для дальнейшего информационного анализа.

Планирование групповой работы БПЛА сводится к разделению общей длины маршрута на приблизительно равные части по количеству БПЛА, привлекаемых к задачам наблюдения. Пример разбиения маршрута на части для двух БПЛА представлен на рис. 3, на котором маршрут каждого БПЛА показан своим цветом [12].

Окончательная продолжительность целевого использования БПЛА на маршруте определяется его энергетикой, относительной близостью ТП, а также применяемым навесным оборудованием.

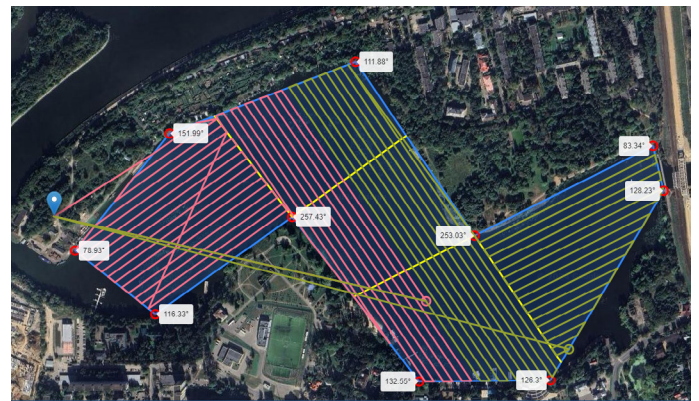


Рис. 3. Пример формирования маршрута для двух БПЛА

Минимизация суммарной длины маршрута, а следовательно, и времени наблюдения или времени выполнения миссии может быть представлена, как минимизация выбранной целевой эффективности – «Э» при выполнении следующих ограничений [12, 21].

Индикаторная функция последовательности прохождения контрольных узлов (точек) маршрута, общее число которых N , а количество БПЛА равно M , имеет вид:

$$x_{i/i+1}^m = \begin{cases} 1, & \text{если } m - \text{й БПЛА посещает точку } i + 1 \text{ после } i; \\ 0, & \text{если иначе} \end{cases}, \quad (6)$$

когда выполняются следующие условия:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M x_{i/i+1}^m = 1, \quad i = \overline{1, N}; \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N x_{i/j}^m \leq \mathcal{E}, \quad \forall m \in M. \quad (9)$$

Таким образом, формирование маршрута в рассматриваемой задаче мониторинга заданной зоны ответственности включает два уровня планирования:

1. Выбор сценария формирования маршрута движения транспортной платформы, выполняющей функции технической и технологической поддержки задач проактивного мониторинга группой БПЛА заданного района.
2. Оптимизация маршрутов БПЛА в составе группы путем перераспределения задач в условиях временных ограничений и возможных технических отказов в составе БПЛА, вызванных сложными условиями наблюдения (контроль зон пожаров и других чрезвычайных ситуаций).

Относительная близость ТП к зоне обслуживания выступает важным фактором безусловного выполнения задач мониторинга в условиях возможного значительного сокращения группировки беспилотных аппаратов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Преимущества рассмотренного подхода, основанного на двухэтапной маршрутизации как наземных транспортных платформ, выступающих в роли подвижных пунктов обслуживания и управления группой БПЛА (на первом этапе), так и непосредственно маршрутизацией группы БПЛА (второй этап).

Разработка возможных сценариев применения ТП требует дальнейшего развития в направлении комбинирования

оперативного перемещения ТП, с учетом выполнения целевых задач и динамики развития чрезвычайных ситуаций.

Высокая степень универсальности метода маршрутизации БПЛА, построенного на принципах выпуклой декомпозиции участков местности в текущем времени с адаптацией к реальной местности, обеспечивающая при этом высокий уровень технической отказоустойчивости и живучести в контексте безусловного выполнения задач мониторинга заданных объектов и территорий, особенно важна при работе в сложных условиях и при выполнении ответственных задач в крупномасштабных системах. При использовании БПЛА в масштабных миссиях фокус первостепенных проблем составляют связь (взаимодействие), координация, автономность, масштабируемость, надежность и безопасность, которые остаются ключевыми в задачах управления беспилотными объектами.

Таким образом, предложенная методика не только повышает эффективность планирования мониторинговых операций, но и существенно увеличивает их надежность, что особенно важно при работе в сложных условиях и при выполнении ответственных задач.

Рецензент: Сухов Андрей Владимирович, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник научно-производственного объединения «Специальная техника и связь», г. Москва, Российская Федерация.
E-mail: avs57@mail.ru

Список использованных источников и литературы / References

1. Каримова Р.Р., Гайнетдинов Р.Р., Шарнина Г.С. Методы мониторинга объектов транспортировки // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2023. № 4(136). С. 80–84. / Karimova R.R., Gajnetdinov R.R., Sharnina G.S. Metody monitoringa ob'ektov transportirovki. Delovoj zhurnal Neftegaz.RU. 2023, no. 4 (136), pp. 80–84. (In Russ.).
2. Солдатов Е.С. Солдатов А.С. Интеллектуальные робототехнические средства мониторинга состояния промышленного оборудования // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 8. С. 319–323. <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2024-8-319-323> / Soldatov E.S. Soldatov A.S. Intellektual'nye robototekhnicheskie sredstva monitoringa sostoyaniya promyshlennogo oborudovaniya. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2024, no. 8, pp. 319–323. (In Russ.).
3. Большаков М.А., Хомоненко А.Д. Метод синтеза композитной модели оценки состояния объектов для решения задач проактивного мониторинга сложных технических систем // Актуальные вопросы общества, науки и образования: сборник статей XVIII Международной научно-практической конференции. В 2 ч., Пенза, 20 ноября 2024 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. – С. 34–37. / Bolshakov M.A., Khomonenko A.D. Metod sinteza kompozitnoj modeli ocenki sostoyaniya ob'ektov dlya resheniya zadach proaktivnogo monitoringa slozhnyh tekhnicheskikh sistem. Current issues of society, science and education: collection of articles of the XVIII International Scientific and Practical Conference. At 2 a.m., Penza, November 20, 2024, pp. 34–37. (In Russ.).
4. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Оценка качества беспилотных авиационных систем мониторинга окружающей среды // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2017. № 6(40). С. 47–57. / Buryi A.S., Shevkunov M.A. Ocenka kachestva bespilotnyh aviacionnyh sistem monitoringa okruzhayushchej sredy. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2017, no. 6(40), pp. 47–57. (In Russ.).

5. Ознамец В.В. Пространственная съемка и моделирование с использованием беспилотных летательных аппаратов // Образовательные ресурсы и технологии. 2020. № 1(30). С. 83–91. / Oznamets V.V. Prostranstvennaya s»emka i modelirovanie s ispol'zovaniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov. Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. 2020, no. 1(30), pp. 83–91. (In Russ.).
6. Кутахов В.П., Мещеряков Р.В. Управление групповым поведением беспилотных летательных аппаратов: постановка задачи применения технологий искусственного интеллекта // Проблемы управления. 2022. № 1. С. 67–74. <https://doi.org/10.25728/ps.2022.1.5> / Kutakhov V.P., Meshcheryakov R.V. Upravlenie gruppovym povedeniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov: postanovka zadachi primeneniya tekhnologij iskusstvennogo intellekta. Problemy upravleniya. 2022, no. 1, pp. 67–74. (In Russ.).
7. Шевкунов М.А. Формирование беспилотных систем на основе гибридных архитектур интеллектуальных агентов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2023. № 3/4(73). С. 42–50. / Shevkunov M.A. Formirovanie bespilotnykh sistem na osnove gibridnykh arhitektur intellektual'nykh agentov. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2023, no. 3/4(73), pp. 42–50. (In Russ.).
8. Файзуллин Р.Ф., Магид Е.А. Применение генетического алгоритма для решения задачи покрытия территории группой беспилотных летательных аппаратов при поддержке наземной мобильной зарядной станции: формирование хромосомы // Известия ЮФУ. Технические науки. 2024. № 1(237). С. 134–141. <https://doi.org/10.18522/2311-3103-2024-1-134-141> / Fajzullin R.F., Magid E.A. Primenenie geneticheskogo algoritma dlya resheniya zadachi pokrytiya territorii gruppoj bespilotnykh letatel'nykh apparatov pri podderzhke nazemnoj mobil'noj zaryadnoj stancii: formirovanie hromosomy. Izvestiya SFedU. Engineering Sciences. 2024, no. 1(237), pp. 134–141. (In Russ.).
9. Костин А.С., Майоров Н.Н., Кучко Д.В. Исследование моделей и методов практической реализации беспилотных транспортных систем для морских пассажирских терминалов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2024. Т. 16. № 3. С. 467–477. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2024-16-3-467-477> / Kostin A.S., Maiorov N.N., Kuchko D.V. Research of models and methods for practical implementation of unmanned transport systems for marine passenger terminals. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. 2024, vol. 16, no. 3, pp. 467–477. (In Russ.).
10. Panigrahy S.K., Emany H. A survey and tutorial on network optimization for intelligent transport system using the internet of vehicles. Sensors. 2023, vol. 23, no. 1: 555. <https://doi.org/10.3390/s23010555>
11. Бурый А.С. Информационное пространство сетевого взаимодействия в клиентской среде // Транспортное дело России. 2011. № 8. С. 156–157. / Buryi A.S. Informacionnoe prostranstvo setevogo vzaimodejstviya v klientskoj srede. Transport Business in Russia. 2011, no. 8, pp. 156–157. (In Russ.).
12. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Метод оптимизации построения маршрута движения группы беспилотных летательных аппаратов на основе выпуклой декомпозиции // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 3(84). С. 88–97. <https://doi.org/10.24412/2311-1348-2025-3-88-97> / Buryi A.S., Shevkunov M.A. Surrogatnoe modelirovanie raspredelennykh informacionnykh sistem po bol'shim dannym. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation, 2019, no. 5(51), pp. 43–50. (In Russ.).
13. Liu Y., Luo Z., Liu Z., et al. Cooperative routing problem for ground vehicle and unmanned aerial vehicle: The application on intelligence, surveillance, and reconnaissance missions. IEEE Access. 2019, vol. 7, pp. 63504–63518.
14. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Теоретические и технологические основы концепции проактивного мониторинга и управления сложными объектами // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 1(162). С. 162–174. / Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy koncepcii proaktivnogo monitoringa i upravleniya slozhnymi objektami. Izvestiya SFedU. Engineering Sciences. 2015, no. 1(162), pp. 162–174. (In Russ.).
15. Гущина Д.А. Основные этапы построения сценария атаки беспилотного летательного аппарата класса микро и мини на аэродромы базирования авиации // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2025. № 2-2. С. 88–91. <https://doi.org/10.37882/2223-2966.2025.02-2.11> / Gushchina D.A. Osnovnye etapy postroeniya scenariya ataki bespilotnogo letatel'nogo apparata klassa mikro i mini na aerodromy bazirovaniya aviacii. Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2025, no. 2-2, pp. 88-91. (In Russ.).
16. Шульц В.Л., Чернов И.В. Использование виртуальных структур при формировании сценарно-когнитивных моделей на основе использования экспертных знаний // Управление большими системами: сборник трудов. 2024. № 108. С. 156–173. <https://doi.org/10.25728/ubs.2024.108.9> / Shults V.L., Chernov I.V. Ispol'zovanie virtual'nykh struktur pri formirovanii scenarno-kognitivnykh modelej na osnove ispol'zovaniya ekspertnykh znaniy. Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov. 2024, no. 108, pp. 156–173. (In Russ.).
17. Бурый А.С. Облачные вычисления в цифровой трансформации информационных технологий // Правовая информатика. 2021. № 2. С. 4–14. <https://doi.org/10.21681/1994-1404-2021-2-04-14> / Buryi A.S. Oblachnye vychisleniya v cifrovoj transformacii informacionnykh tekhnologij. Pravovaya informatika. 2021, no. 2, pp. 4–14. (In Russ.).

18. Ahmad T., Morel A., Cheng N., et al. Future UAV/Drone Systems for Intelligent Active Surveillance and Monitoring. *ACM Computing Surveys*. 2025, vol. 58, no. 2: 1–37.
19. Орехович Р.А. Методика функциональной реконфигурации комплекса бортового оборудования беспилотного летательного аппарата // Труды МАИ. 2024. № 136. С. 10. / Orekhovich R.A. Metodika funkcional'noj rekonfiguracii kompleksa bortovogo oborudovaniya bespilotnogo letatel'nogo apparata. *Trudy MAI*. 2024, no. 136, Art. 10. (In Russ.).
20. Саломатин А.А. Анализ структур систем информационной поддержки транспортировки грузов с помощью гетерогенной группы БПЛА с учетом метеорологических условий // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. 2024. № 3. С. 92–101. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14018632>. / Salomatin A.A. Analiz struktur sistem informacionnoj podderzhki transportirovki грузов s pomoshch'yu geterogennoj gruppy BPLA s uchetom meteorologicheskikh uslovij // *Vestnik Doneckogo nacional'nogo universiteta. Seriya G: Tekhnicheskie nauki*. 2024, no. 3, pp. 92–101. (In Russ.).
21. Скиена С.С. Алгоритмы. Руководство по разработке. 3-е изд., пер. – СПб.: БХВ-Петербург, 2022. – 848 с. / Skiena S. *Algoritmy. Rukovodstvo po razrabotke*. Saint Petersburg: BHV-Peterburg Publ., 2022, 848 p. (In Russ.).

AN UNMANNED PROACTIVE MONITORING SYSTEM FOR DISTRIBUTED FACILITIES

Buryi A.S., Doctor of Sciences in Technology, Russian Standardization Institute, Moscow

Shevkunov M.A., degree applicant, Russian Standardization Institute, Moscow

Approaches to the construction of optimal routes for monitoring objects distributed on the ground based on the integration of unmanned systems with transport service platforms are considered.

The aim of the study is to integrate ground transport platforms characterized by preset deployment scenarios and optimize the routes of unmanned aerial vehicles (UAVs) on this basis to increase the efficiency of solving target tasks and increase the service area.

Methods: system analysis of dynamic processes, taking into account the properties of self-organization, adaptation and situational management of UAVs in the tasks of monitoring distributed control facilities; development of methods for multi-level planning of complex systems.

Results: a conceptual approach to the organization of the construction of integrated systems based on the integration of transport service platforms and UAVs as part of a group is substantiated, which reduces the duration of monitoring distributed facilities in conditions of technical failures and situational uncertainty of controlled facilities.

Keywords: proactive monitoring, unmanned aerial vehicle (UAV), route planning of ground transport platforms, information and logical modeling, routing of groups of UAVs taking into account the conditions.

For citation: Buryi A.S., Shevkunov M.A. An unmanned proactive monitoring system for distributed facilities. *Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation*. 2025; 5 (86): 75–82. (In Russ.).