

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Обоснована необходимость мониторинга автомобильных дорог в районах чрезвычайных ситуаций и возможность использования беспилотных летательных аппаратов в системах мониторинга.

Ключевые слова: мониторинг, автомобильные дороги, беспилотные летательные аппараты.

I.V. Polyakov

THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR MONITORING OF ROADS

The necessity of monitoring of roads in the areas of emergency situations and the possibility of using unmanned aerial vehicles in monitoring systems was justified.

Key words: monitoring, road, unmanned aerial vehicles.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 15 сентября 2016 г.

При ликвидации **чрезвычайных ситуаций (ЧС)** природного и техногенного характера часто возникает потребность в организации массового передвижения на автомобильных дорогах, связанного с эвакуацией населения, подвозом материальных средств и движением спасательных подразделений. Для передвижения, в первую очередь, используют автомобильные дороги общего пользования.

В условиях повышенной интенсивности автомобильного движения, избыточных нагрузок, а также опасных факторов природного и техногенного характера возможно появление на дорогах различных заграждений и разрушений. В интересах организованного передвижения населения и спасательных подразделений необходимо владеть информацией о состоянии автомобильных дорог в режиме, близком к реальному времени. В отдельных случаях требуется одновременно контролировать сотни километров автодорог.

В этих условиях правомерно поставить вопрос о необходимости **мониторинга** автомобильных дорог, под которым следует понимать процесс постоянного сбора, накопления и обработки информации о состоянии автомобильных дорог, в интересах оперативного выявления заграждений (разрушений) и своевременного принятия решений.

В общем виде структура задачи мониторинга автомобильных дорог может быть представлена в виде совокупности процессов (рис. 1).

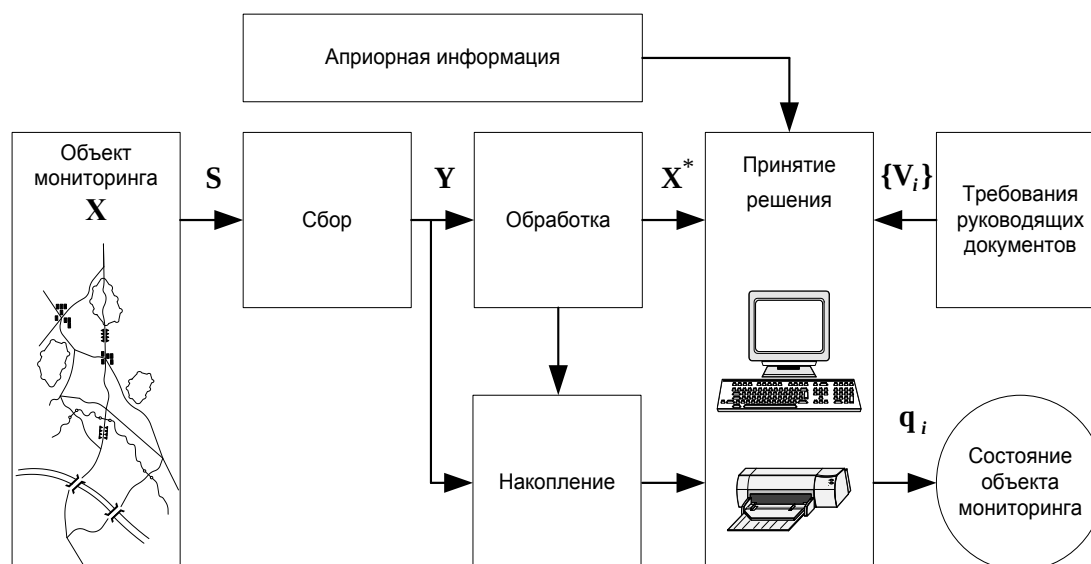


Рис. 1. Структура задачи мониторинга дорог:

X – вектор контролируемой информации, S – вектор собираемой информации, Y – вектор результатов сбора информации, X^* – вектор контролируемой информации после её обработки, $\{V_i\}$ – совокупность векторов ограничений на контролируемую информацию для каждого технического состояния; q_i – одно из возможных состояний объекта

Процесс **сбора** информации заключается в преобразовании (с использованием различных средств сбора информации) вектора собираемой информации S в вектор результатов сбора информации $Y = (y_1, y_2, \dots, y_{N_y})$, где N_y – количество элементов дорог, в отношении которых получен результат. К таким элементам можно отнести минимально неделимые составные части маршрута: характерные участки автомобильных дорог, дорожно-мостовые объекты, участки местности вне дорог и т.п.

Процесс **обработки** состоит в том, что на основании результатов сбора информации осуществляется сравнение полученных результатов с эталонными. В результате этого вектор результатов сбора информации Y преобразуется в вектор контролируемой информации после её обработки X^* .

Процесс накопления обеспечивает сохранение уже полученных данных для учёта их при принятии решения в текущий момент времени.

Блок "априорная информация" отражает тот факт, что ещё до возникновения чрезвычайной ситуации имеется информация как о самой дорожной сети (электронные и цифровые карты, модели местности и дорожной сети и пр.), так и о возможной группировке сил и средств, привлекаемой к ликвидации ЧС. Эта информация используется в качестве исходных данных для принятия решения на организацию передвижения.

Блок "**требования руководящих документов**" содержит нормативную информацию о дорожной сети (проектная и эксплуатационная документация на автомобильные дороги и мостовые объекты), а также установленные руководящими документами граничные параметры (минимальные геометрические размеры элементов, число полос движения, пропускная способность и пр.).

С точки зрения мониторинга автомобильных дорог, требования руководящих документов задаются совокупностью векторов ограничений $\{V_1, V_2, \dots, V_{N_q}\}$, где N_q – количество возможных состояний $q_1, q_2, \dots, q_{N_q}$ объекта мониторинга. Таким образом, для каждого технического состояния дороги имеется свой вектор ограничений. Каждый вектор ограничений V_i содержит столько компонент, сколько имеется контролируемых элементов дороги (N_x), то есть $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iN_x})$. При этом каждая компонента v_{ij} содержит набор числовых характеристик, определяющих допустимые значения j -го контролируемого параметра для i -го технического состояния. В простейшем случае компонента вектора ограничений v_{ij} будет двухкомпонентным вектором, имеющим два состояния: исправное и неисправное.

В качестве проектной и эксплуатационной документации могут быть использованы паспорта и графики дороги, карточки и чертежи искусственных сооружений, инвентаризационные ведомости, план и продольный профиль дороги, ведомости неустойчивых и снегозаносимых участков и пр.

Процедура **принятия решения** является завершающей, хотя и не входит в систему мониторинга. Суть этой процедуры, с точки зрения функционирования системы мониторинга, заключается в том, что на основании нормативной информации о возможных состояниях объекта мониторинга в виде совокупности векторов $\{V_1, V_2, \dots, V_{N_q}\}$, с одной стороны, и на основании оценки текущего состояния объекта в виде вектора контролируемой информации после её обработки X^* , с другой стороны, принимается решение о том, в каком из состояний $q_1, q_2, \dots, q_{N_q}$ находится объект в данный момент времени. При этом используется априорная информация об объекте и информация, накопленная в процессе мониторинга в предшествующие моменты времени. В дальнейшем осуществляется поддержка принятия решения по организации передвижения.

При обосновании структуры системы мониторинга были приняты к руководству общие принципы построения аналогичных систем [1]:

1. Системы мониторинга должны обеспечить получение информации о состоянии контролируемого объекта в необходимом количестве и качестве.

2. Принцип достаточности регламентирует выбор минимального количества средств контроля, обеспечивающих наблюдаемость технического состояния контролируемого объекта. Номенклатура средств контроля должна быть представлена как можно в более широком диапазоне методов контроля.

3. Принцип самодиагностики всех контролирующих и управляющих каналов системы мониторинга реализуется подачей специальных сигналов в цепь средства контроля и анализа этого сигнала на выходе системы.

4. Принцип структурной гибкости и программируемости обеспечивает реализацию оптимальной структуры системы мониторинга. Выбор структуры определяется исходя из критериев необходимой эффективности при минимальной стоимости.

5. Принцип дружелюбности интерфейса при максимальной информационной ёмкости обеспечивает восприятие оператором реального состояния контролируемого объекта и получение указания на ближайшие действия.

Эти принципы легли в основу разработки структуры перспективной системы мониторинга автомобильных дорог.

С точки зрения практической реализации процесса мониторинга, наибольший интерес представляют технические средства, с использованием которых предполагается осуществлять сбор информации о состоянии автомобильных дорог. Учитывая значительную протяжённость дорог, важнейшей характеристикой этих средств будет являться скорость сбора информации.

Ещё десять лет назад наиболее эффективным являлся сбор информации о состоянии дорог, осуществляемый водителями транспортных средств, непосредственно передвигающихся по дорогам. Однако скорость движения этих транспортных средств значительно снижалась за счёт их задержки на заграждениях и разрушениях. Поэтому возникала необходимость в исключении контакта средств сбора информации и элементов дорожной сети. Одним из путей решения этой задачи стало использование средств воздушной разведки автомобильных дорог и, в первую очередь, *беспилотных летательных аппаратов (БЛА)*, которые, обладая сравнительно низкой себестоимостью, имеют целый ряд преимуществ.

Анализ основных характеристик некоторых беспилотных летательных аппаратов, состоящих на снабжении Минобороны и МЧС России, а также проходящих государственные испытания (табл. 1), позволил сформулировать необходимые требования, которые наиболее полно отвечают потребностям мониторинга автомобильных дорог.

Таблица 1

Основные характеристики беспилотных летательных аппаратов [2]

Характеристики	Название БЛА					
	Орлан-10	Орлан-30	Элерон-3СВ	Гранат ВА-1000	Горизонт S-100	Тахион
Тип	самолётн.	самолётн.	самолётн.	вертолётн.	вертолётн.	самолётн.
Размах крыла, м	3,1	2,8	1,5			
Длина, м	1,8	2,0				
Макс. взлётная масса, кг	15	27	4,3	5,5	200	25
Тип двигателя	ДВС	ДВС	эл./двиг.	эл./двиг.	ДВС	эл./химич. генератор
Мощность двигателя, л/с	3	6,3				
Скорость полёта, км/ч	75...170	150	70...130	55	100	65...120
Радиус действия, км	600	300	140	40		40
Дальность передачи информации, км	120		10		180	
Продолжительность полёта, ч	до 16	5	2	1,5	6	2
Практический потолок, м	6000	4500	50...5000	4000		50...4000

Учитывая специфику решаемых задач, важнейшими характеристиками беспилотных летательных аппаратов, предназначенных для мониторинга дорог, будут являться: радиус действия, дальность передачи информации и продолжительность полёта. Оптимальные значения данных характеристик обеспечат максимальную эффективность при использовании БЛА для мониторинга автомобильных дорог.

В качестве прототипа БЛА для мониторинга автомобильных дорог на сегодняшний день может быть использован аппарат самолётного типа "Орлан-10" (рис. 2), основные характеристики которого в полной мере отвечают необходимым требованиям: по дальности действия – 600 км, по дальности передачи информации – 120 км, по продолжительности полёта – до 16 ч.



Рис. 2. БЛА "Орлан-10" на пусковом устройстве (катапульте)

Одной из основных задач мониторинга является получение *достоверной информации* о состоянии автомобильных дорог. Теоретическим фундаментом для решения этой задачи является распознавание состояний объектов в процессе обработки информации. Основу этого процесса составляет *теория распознавания*, составляющая важный раздел технической кибернетики, который изучает распознавание состояний элементов технических систем любой природы (геометрических, звуковых и т.п.). Алгоритмы распознавания основываются на диагностических моделях, устанавливающих связь между состояниями технической системы и их отображениями в пространстве контролируемой информации [3].

Распознавание состояния элемента – это процедура отнесения его текущего состояния к одному из возможных состояний, число которых зависит от особенностей функционирования контролируемых элементов. При распознавании состояний одних элементов требуется провести выбор одного из двух возможных состояний, например, "исправное состояние" и "неисправное состояние". Возникновение таких состояний возможно в случае разрушения каких либо мостовых объектов на дороге.

В других случаях имеется необходимость в более детальной оценке неисправности. При этом, помимо "исправности" или "неисправности" элемента, возможны состояния, связанные со степенью снижения пропускной способности пути. Такие состояния возникают в случае частичного разрушения земляного полотна. Степень снижения пропускной способности в этом случае будет зависеть от степени разрушения земляного полотна. Примером такой градации может быть переход в "состояние снижения скорости", когда заграждения не перекрывают движение, но оказывают влияние на скорость. Более негативным может быть "состояние однополосного участка", когда выведена из строя одна из двух полос движения на участке пути. С точки зрения выявления факта разрушения пути, степень снижения пропускной способности не очень важна. Достаточно выявить сам факт разрушения. Однако учёт степени снижения пропускной способности может потребоваться при принятии решения на восстановление разрушенного участка.

Схема обработки информации при распознавании состояний элементов дорог приведена на рис. 3.

Первый и второй уровни распознавания включают процессы обнаружения элементов дорог, а также измерения их параметров и характеристик. Это в основном технические процедуры (определение геометрических размеров дорожно-мостовых объектов и разрушений), выходным результатом которых являются исходные данные для решения задач на всех последующих уровнях.

На третьем уровне распознавания осуществляется селекция элементов дорог по их техническому состоянию для сравнения результатов измерений с эталонными. В результате выполнения процедур этого этапа общий поток информации, поступающий в систему, делится на несколько обособленных массивов, подлежащих специфической, по сравнению с другими, обработке. Большое значение при выполнении процедур этого этапа имеет обзоримость поступающей и уже накопленной информации. По результатам первой селекции в ряде случаев уже могут быть получены характеристики состояний оцениваемых элементов.

На четвёртом уровне распознавания производится систематизация полученной информации путём разделения элементов дороги по типам, степени разрушения, возможности использования и прогнозируемому времени восстановления. Основным содержанием данного этапа является распознавание конкретных видов заграждений (разрушений) и их классификация.

На пятом уровне распознавания полученные результаты сопоставляются с оперативной обстановкой, данными разведки, планируемым манёвром подразделений. На основе указанных данных делаются выводы о возможности использования тех или иных дорог (участков дорог) для передвижения.

На последнем, высшем уровне распознавания решаются задачи так называемого концептуального распознавания, в ходе которого, с учётом моделей оперативной обстановки, объёмов накопленной информации, результатов решения задач на предыдущих этапах, определяются прогностические данные по состоянию всей дорожной сети, а также её элементов в различные периоды операции. Важное значение при этом имеют ретроспективные оценки прошлого опыта анализа обстановки и распознавания ситуаций.

Таким образом, принятие соответствующих решений на каждом уровне может быть сведено к отождествлению частных ситуаций с имеющимися в памяти или конструируемыми эталонами.

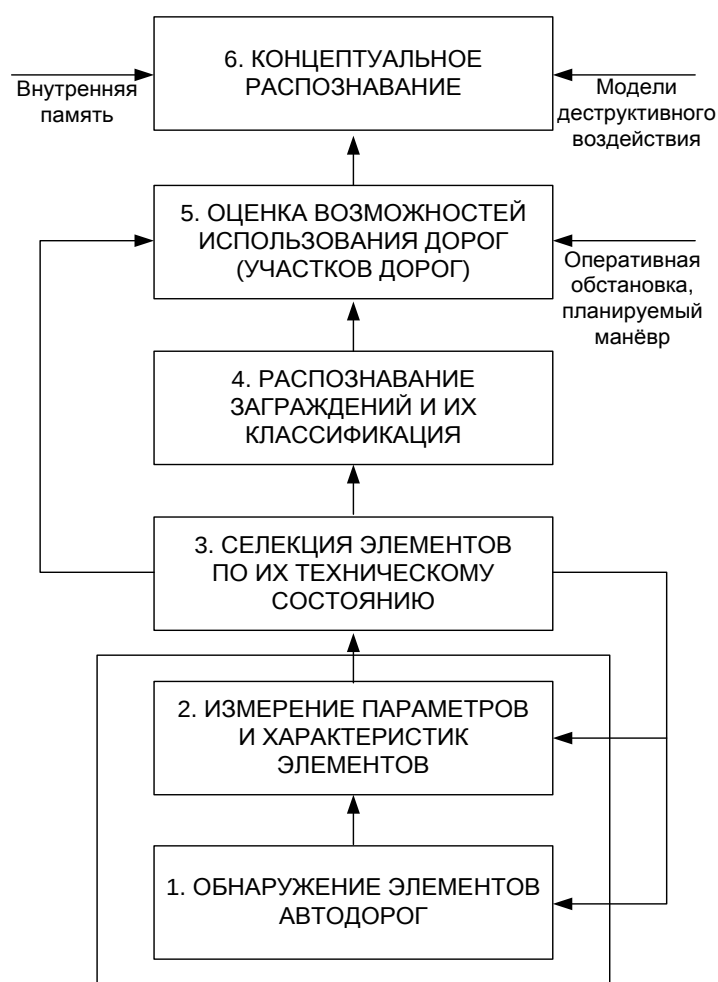


Рис. 3. Общая схема обработки информации при распознавании состояний автомобильных дорог

Оборудование беспилотных летательных аппаратов, предназначенных для выполнения задачи мониторинга автомобильных дорог может быть следующим: фотоаппарат, видеокамера, гиростабилизированная ИК (ТВ) камера кругового обзора. Применение в БЛА навигационной аппаратуры ГЛОНАСС/GPS позволяет повысить безопасность и оперативность сбора информации путём занесения в память прибора заранее подготовленной программы движения и её изменений в соответствии с конкретными обстоятельствами. Эта функция БЛА имеет более широкое практическое применение.

В процессе мониторинга загруженные в память навигационного оборудования маршруты движения позволяют более точно выдерживать курс летательного аппарата, высоту аэросъёмки, облегчают оператору заход на маршруты и помогают избежать разрывов в видеоизображении.

Качество получаемых изображений должно соответствовать требованиям дешифрируемости изображений. В соответствии с методом Джонсона, существует четыре уровня дешифрируемости (табл. 2).

Таблица 2

**Характеристика уровней дешифрируемости изображений
(составлено по материалам [4])**

Уровень дешифрируемости	Классификационный признак	Количество пикселей
Обнаружение	Объект появляется в поле зрения	2
Определение ориентации	Наблюдатель различает форму объекта и определяет его ориентацию	4
Различение	Наблюдатель классифицирует объект	8
Опознавание	Наблюдатель в пределах своих знаний устанавливает тип объекта	13

Для решения задач сбора информации о состоянии дорог дешифрируемость объекта должна быть не ниже уровня определения ориентации. При использовании в составе БЛА цифровой камеры с ПЗС матрицей формата 1/1,8 дюйма, размер пикселя – 2,2 микрона, количество пикселей – 3264×2448 (8 мегапикселей).

При использовании аэрометодов для мониторинга путей могут быть оценены с необходимой точностью: состояние земляного полотна и дорожно-мостовых объектов; дефекты покрытия, обочин и откосов; состояние водоотводных устройств (кюветов, лотков и пр.); условия пропуска воды через трубы и мосты; размеры основных элементов дороги; участки объезда возможных препятствий; районы расположения местных строительных материалов. Использование БЛА позволяет также выявить условия и режимы движения техники по контролируемой дороге и на её отдельных участках, установить наиболее опасные и неудобные для движения места.

Другой, не менее важной задачей мониторинга, является получение информации о состоянии дорог **в режиме, близком к реальному времени**. Поэтому в качестве критериев эффективности мониторинга необходимо использовать время обнаружения заграждения на дороге, а также вероятность обнаружения.

Процесс функционирования автомобильной дороги в период её эксплуатации может быть рассмотрен с использованием теории массового обслуживания. Исследованиями, проведёнными в Военно-инженерной академии, установлено, что процесс сбора информации о состоянии участков автодорог может быть рассмотрен как пуассоновский поток событий, а процесс "возникновения" заграждений на дороге подчиняется экспоненциальному закону распределения. Это позволяет применить в расчётах математический аппарат марковских случайных процессов.

Одной из важнейших характеристик системы массового обслуживания является интенсивность сбора информации о состоянии дорог, зависящая, как правило, от скорости сбора информации и рассчитываемая по формуле

$$\lambda = \frac{N_x}{T}, \quad (1)$$

где N_x – количество контролируемых элементов дороги за время сбора информации T .

Другая характеристика системы – интенсивность "возникновения" заграждений (разрушений) на дороге может быть рассчитана с использованием зависимости

$$\mu = \frac{N_y}{T}, \quad (2)$$

где N_y – количество обнаруженных заграждений (разрушений) на дороге за время сбора информации T .

При постоянных λ и μ для системы дифференциальных уравнений Эрланга вероятность обнаружения заграждения P_{O3} за временной период t может быть рассчитана по формуле [5]

$$P_{O3}(t) = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} - \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \cdot e^{-(\mu + \lambda)t}. \quad (3)$$

С использованием предложенного математического аппарата была осуществлена оценка применения БЛА для мониторинга автомобильных дорог в районе ЧС. Расчёты показывают, что при использовании БЛА "Орлан-10" для мониторинга участка автомобильной дороги протяжённостью 150 км интенсивность выявления заграждений (разрушений) составит $\lambda = 0,133$, что позволит получать информацию о состоянии путей с задержкой, не превышающей 17 мин. При этом вероятность обнаружения будет не ниже 0,8.

Необходимо отметить, что расчётное время выявления заграждений при сборе информации о состоянии дорог существующими средствами (водителями транспортных средств, непосредственно передвигающихся по дорогам) превышает 40 мин.

Таким образом, использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга автомобильных дорог в районе ликвидации последствий ЧС позволит повысить эффективность действий подразделений за счёт значительного сокращения времени обнаружения заграждений (разрушений) при минимальных затратах сил и средств. Внедрение системы мониторинга автомобильных дорог в районах ЧС своевременно обеспечит органы управления достоверной информацией о состоянии автомобильных дорог в интересах своевременного принятия решений.

Литература

1. Стандарт ассоциации 03-002-05. Системы мониторинга агрегатов опасных производственных объектов. Общие технические требования. М., 2005.
2. Уголок неба // Большая авиационная энциклопедия. М., 1998-2015. <http://www.airwar.ru>.
3. **Дмитриенко А.Г. и др.** Техническая диагностика. Оценка состояния и прогнозирование остаточного ресурса технически сложных объектов: учебное пособие. Пенза: ВПО ПГУ, 2013. 62 с.
4. **Инструкция** по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. М.: ЦНИИГАиК, 2005. 86 с.
5. **Колибернов Е.С., Лимно А.Н., Юрков Б.Н. и др.** Исследование операций: учебник. М.: ВИА, 1990. 528 с.