



УДК 629.7:528.7

БЕЗОПАСНОСТЬ

## Дистанционно-пилотируемые летательные аппараты и безопасность пути



Борис ЛЕВИН  
Boris A. LIEVIN

Александр БУГАЕВ  
Alexander S. BUGAEV



Сергей ИВАШОВ  
Sergey I. IVASHOV

Владимир РАЗЕВИГ  
Vladimir V. RAZEVIIG



**Известные в стране и за рубежом факты террористических актов и вероятность их повторения на высокоскоростных линиях железных дорог заставляют усиливать меры противодействия подобным угрозам. Для обеспечения безопасности движения поездов, предотвращения возможных диверсий, своевременного обнаружения взрывных устройств разрабатываются методы контроля в зоне рельсового полотна, включая воздушные наблюдения и аэрофотосъемку. Один из таких способов – применение дистанционно-пилотируемых летательных аппаратов с оптическими датчиками – предлагается в публикуемой статье. Даются обоснование их преимуществ, результаты проведенных экспериментальных исследований, а также сравнения аппаратов вертолетного и самолетного типов, используемых для мониторинговой разведки.**

*Ключевые слова:* железная дорога, терроризм, взрывные устройства, воздушная разведка, безопасность движения, мониторинг пути, дистанционно-пилотируемые летательные аппараты, аэрофотосъемка, оптические датчики, экспериментальные исследования.

*Лёвин Борис Алексеевич – доктор технических наук, профессор, ректор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).*

*Бугаев Александр Степанович – академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой Московского физико-технического института (государственного университета).*

*Ивашов Сергей Иванович – кандидат технических наук, начальник лаборатории дистанционного зондирования Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана.*

*Разевиг Владимир Всеволодович – старший научный сотрудник лаборатории дистанционного зондирования МГТУ имени Н. Э. Баумана.*

**П**роблема противодействия террористическим актам с применением взрывных устройств (ВУ) приобрела особую актуальность. Незаконные вооруженные формирования и террористические группировки как в Российской Федерации, так и других странах широко используют ВУ для совершения нападений на военные и гражданские объекты, в частности на железные дороги. Задача профилактики угроз на железнодорожных путях стала еще острее в связи с появлением высокоскоростных поездов типа «Сапсан». Крушение высокоскоростного экспресса неминуемо приведет к многочисленным

человеческим жертвам и принесет большой экономический ущерб.

### ОБОСНОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВЫ

Поиск диверсионно-террористических средств, самодельных ВУ и иных взрывоопасных предметов в основном ведется за счет визуального осмотра железнодорожного полотна путевыми бригадами, что требует немалых затрат рабочего времени. С середины 1980-х годов для поиска взрывных устройств, в том числе и на железнодорожных путях, стали применяться приборы, использующие нелинейную радиолокацию [1]. Но такой способ крайне трудоемкий, требует перемещения оператора с прибором вдоль всего пути. Кроме того, нелинейные радиолокаторы ограничены возможностью обнаружения ВУ с электронными взрывателями, в то время как устройства с взрывателями нажимного действия останутся незамеченными. И ещё нюанс: для нелинейных локаторов характерен высокий уровень ложных тревог.

Использование методов воздушной разведки для диагностики состояния железнодорожных путей не является абсолютной новой идеей [2]. Однако внедрение аэрофотосъемки в регулярную практику сдерживалось большой стоимостью эксплуатации пилотируемых летательных аппаратов (ПЛА), самолетов и вертолетов, необходимостью получения разрешений на каждый вылет и привязанностью ПЛА к аэродромам базирования, обслуживания, взлета и посадки. В силу этого привлечение ПЛА для нужд железных дорог ограничивалось эпизодическими случаями либо отдельными экспериментальными работами [2].

Возможной альтернативой пилотируемым аппаратам может быть вариант дистанционно-пилотируемых летательных аппаратов (ДПЛА), которые доказали свою эффективность особенно при их использовании армиями США и Израиля. В последние годы начинают применять ДПЛА для решения разнообразных задач и в России. В первую очередь интерес к этому проявляет министерство обороны и МЧС РФ.

Для ДПЛА характерна более низкая стоимость эксплуатации и необязательность стационарных аэродромов (как правило, запуск аппаратов осуществляется



**Рис. 1. Обследование железнодорожного пути с помощью установленных на ДПЛА оптических датчиков.**

с передвижных катапульт или прямо с руки оператора). При эксплуатации ДПЛА в полосе отчуждения железной дороги и на высотах менее 100 м не требуется специальных разрешений на каждый вылет.

В рамках проекта РФФИ-РЖД [3] была рассмотрена возможность досмотра железнодорожного полотна с помощью установленных на дистанционно-пилотируемом летательном аппарате оптических датчиков регистрации изображений, включая многозональные. Обнаружение ВУ может осуществляться как автоматически с использованием математических методов распознавания образов (см. рис. 1), так и человеком-оператором. Комбинированная система обработки изображений позволит повысить качество и оперативность принятия решений в случае обнаружения следов подготовки террористических актов. В качестве топпривязчика на перспективных аппаратах можно использовать аппаратуру системы GPS/ГЛОНАСС, а также делать привязку по изображениям местных предметов и опознавательных знаков.

Предлагаемый подход основан на том, что установка взрывных устройств даже в случае их маскировки всегда сопровождается неоднородностями вмещающей среды (нарушение поверхности грунта, нарушение цвета растительности или снежного покрова и т. д.). При анализе изобра-



жений крайне важно учитывать изменения, связанные с динамикой погодных условий, освещенности (наличие облачности, прямые солнечные лучи с образованием резких теней и т. д.) В сумерках и ночное время не исключено применение электронно-оптических устройств: телевизионных камер, работающих при низком уровне освещенности, и инфракрасных приборов.

Еще одной возможностью является использование ДПЛА при наличии оперативной информации для непрерывного, в режиме барражирования наблюдения за выделенным участком пути. При таком варианте реально отследить непосредственно момент установки ВУ и оперативно предотвратить возможное крушение железнодорожного состава. Для этого получаемые изображения в реальном масштабе времени должны пересылаться на центральный сервер, там обрабатываться, а при выявлении на путях движущихся объектов — включаться оперативная связь с органами безопасности с целью противодействия угрозе.

Чтобы решить поставленные задачи, следует оптимальным образом выбрать тип датчика, регистрирующего изображения. В условиях хорошей освещенности можно использовать видеокамеру, высокоскоростную фотокамеру или оптический сканер с линейкой датчиков. При этом нужно учитывать, что видеокамера позволяет получать больше кадров в секунду, чем фотокамера. Однако фотокамера дает изображение с лучшим разрешением, ее матрица имеет большее количество точек. Что касается сканера с линейной матрицей для хранения изображений, то ему потребуется значительно меньшая память, ибо в этом случае будет отсутствовать дублирование, когда один и тот же фрагмент железнодорожного полотна присутствует на нескольких кадрах. Неизбежно же иное: качество изображений зависит от скорости полета носителя аппаратуры.

### ОПИСАНИЕ ДПЛА

Для проведения аэрофотосъемки железнодорожных путей в зимний период на экспериментальном кольце в подмосковной Щербинке использовался дистанционно-пилотируемый летательный аппарат вертолетного типа видеостудии DT group,

рис. 2. Выбор вертолетного ДПЛА был обусловлен его лучшей управляемостью в условиях ограниченного пространства и значительно меньшими эксплуатационными затратами.

Самолетные ДПЛА, обладающие значительно большими дальностью и временем полета, требуют развитой наземной инфраструктуры (устройств запуска и посадки, ремонтной базы и т. д.) и многочисленного персонала для их эксплуатации. Подобный тип аппаратов доступен только структурам со значительными ресурсами. Кроме того, в РФ нет законодательной базы, регламентирующей эксплуатацию таких летательных средств.

Использованный вертолетный летательный аппарат многороторного типа — мультикоптер (multicopter) — позволяет получать фото и видео хорошего качества с высоты птичьего полета.

Контроль над перемещением ДПЛА осуществлялся по радиоканалу. Для получения изображений летательный аппарат был оснащен фотокамерой Canon EOS 5D Mark II (рис. 2), позволяющей дистанционно управлять затвором с помощью отдельного пульта. Камера устанавливалась на карданном подвесе, откуда картинка в непрерывном режиме передавалась на экран блока управления. При этом оператор мог ориентировать камеру на снимаемый объект.

Питание электродвигателей вертолета обеспечивалось от аккумуляторов. В зависимости от нагрузки аппарат был способен непрерывно находиться в воздухе до пятнадцати минут и подниматься на высоту свыше 100 метров. Подготовка к съемкам занимала не более 30 минут.

ДПЛА вертолетного типа вполне удовлетворяет требованиям экспериментальных работ как демонстратор технологии. Для системы мониторинга железных дорог намного предпочтительнее самолетные ДПЛА, которые обладают значительно большей дальностью полета и временем нахождения в воздухе [3].

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов, подлежащих обнаружению, были взяты учебные макеты отечественных и зарубежных противо-

танковых мин разных типов. Выбор определялся их мощностью. Количество взрывчатого вещества (ВВ) в противотанковой мине может достигать 8 кг, а разрушительная сила у таких средств более чем соответствует диверсионным целям на транспорте. В то время как противопехотные мины содержат недостаточное количество ВВ, чтобы причинить ощутимый вред современным железнодорожным рельсам.

Учитывая погодные условия (мерзлый плотный грунт) и то обстоятельство, что аэрофотосъемка выполнялась на действующих путях экспериментального кольца, мины не прикапывались, а укладывались на грунт рядом с рельсами на двух соседних участках. Один из них был электрифицирован и на нем осуществлялось регулярное движение поездов, при котором снег почти полностью сдувался с путей.

Съемка осуществлялась с разных высот. Благодаря хорошей управляемости ДПЛА вертолетного типа была возможность осуществлять полет как на малых высотах, ниже контактного провода, так и на высотах, превышающих 50 м.

На втором участке контактная сеть отсутствовала и пути были полностью занесены снегом. Из-за редкого прохождения поездов эта местность представляла собой, по сути, снежную целину, которая скрывала шпалы и местами рельсы, рис. 3.

Такого рода местность дает возможность обнаружить передвижение людей по их следам. На рис. 4а приведено изображение следов человека между рельсов и результат обработки данного изображения с помощью цветовой модели HLS [4], рис. 4б.

Была имитирована закладка противотанковых мин у рельсов, рис. 5. Затем производилась аэрофотосъемка с различных высот. Из-за сильных морозов грунт в районе балластной призмы не поддавался рыхлению, поэтому мины укладывались непосредственно на грунт и немного прикапывались снегом.

Как и в предыдущем случае, на электрифицированных путях осуществлялось выкладывание различных типов противо-



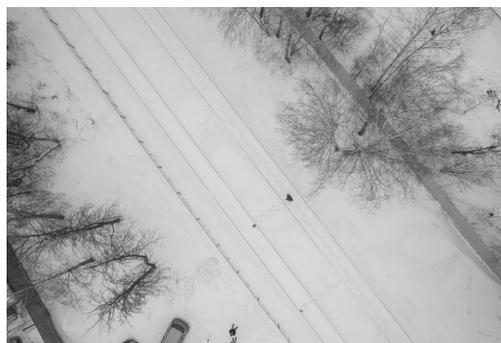
*Рис. 2. ДПЛА вертолетного типа: общий вид.*

танковых мин и были получены аналогичные результаты.

Несмотря на плотный и мерзлый грунт балластной призмы, в одном месте удалось сделать небольшой раскоп на внешней стороне межшпального пространства. Полученное изображение и результат его HLS-обработки приведены на рис. 6.

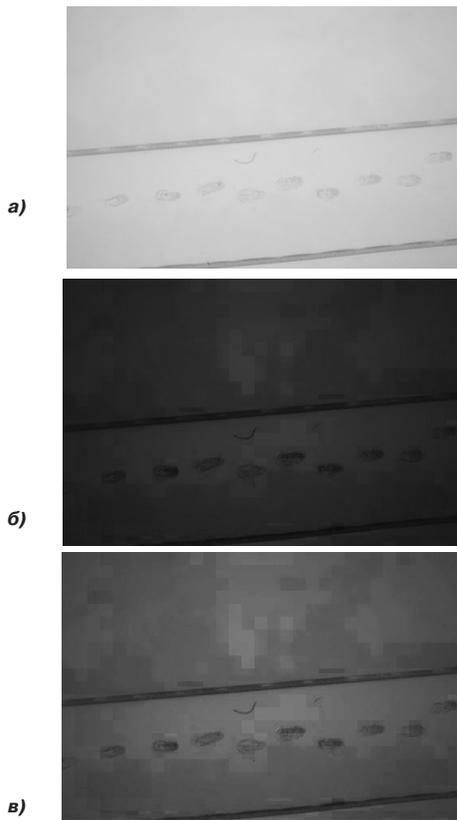
На обработанном изображении четко выделяются: противотанковая мина у рельса в нижней части фото, раскоп перпендикулярно противоположному рельсу.

При происшествиях и катастрофах на железных дорогах возникает потребность оперативно оценить их тяжесть, наличие подъездных путей к месту события для транспортировки раненых, пострадавших и, выражаясь военным языком, определить наряд сил и средств для ликвидации последствий аварийной ситуации. Наглядней всего и с наименьшими затратами времени это можно выполнить опять же с помощью аэрофотосъемки.

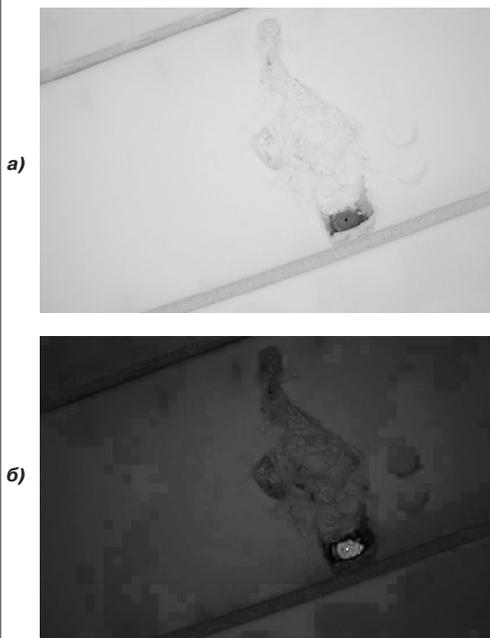


*Рис. 3. Неэлектрифицированный участок железнодорожного пути, занесенный снегом (вид с воздуха).*

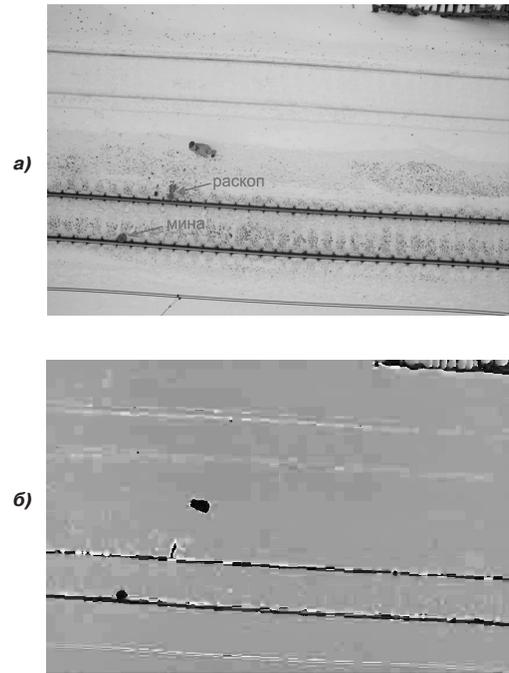




**Рис. 4.** Следы человека на снежной целине в межрельсовом пространстве: а) исходное изображение; б) изображение после HLS-обработки, S-компонента; в) результат контрастирования изображения (б).



**Рис. 5.** Противотанковая мина на полотне железной дороги: а) исходное изображение; б) изображение после HLS-обработки, S-компонента; в) результат контрастирования изображения (б).



**Рис. 6.** а) исходное изображение; б) результат HLS-обработки изображения, компонента H.

Нами просмотрено немало аэрофото-снимков, полученных с пилотируемых летательных аппаратов. Снимки чаще всего сделаны в густонаселенной местности, что достаточно характерно для условий Западной Европы и Северной Америки. Но в восточной части России железные дороги часто проходят в ненаселенной и малодоступной местности. В этом случае использование ДПЛА представляется особенно целесообразным. Хотя и во всех других случаях, когда есть и иные источники информации, аэрофотосъемка даст все-таки более полное представление о железнодорожном происшествии.

### КОНКУРЕНТНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ПРЕДЛАГАЕМЫХ РЕШЕНИЙ

Преимущества ДПЛА по сравнению с обычными пилотируемыми летательными аппаратами состоят в следующем:

- 1) эксплуатационные затраты ДПЛА значительно ниже, чем ПЛА;
- 2) система эксплуатации ДПЛА может быть полностью интегрированной в структуры ОАО «РЖД» и независимой от других ведомств;
- 3) для управления полетом и получения информации с ДПЛА могут ис-

пользоваться существующие или проектируемые линии связи, проложенные вдоль железнодорожных путей, при их некоторой модернизации;

4) для мониторинга с участием ДПЛА вдоль железнодорожных путей на малых высотах не требуется разрешение служб, регламентирующих полеты «большой» авиации, что в значительной степени повышает оперативность получаемой информации.

Наличие службы ДПЛА в целом будет способствовать повышению безопасности железнодорожного движения, а в случае возникновения аварий с подвижным составом – скорейшей ликвидации их последствий. Для использования в системе ОАО «РЖД» и снижения предполагаемых затрат есть

прямой смысл использовать уже готовые или проектируемые типы ДПЛА, которые предназначены для Вооруженных Сил РФ или МЧС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Калабухов В. А., Шербаков Г. Н. Опыт применения нелинейного радиолокатора NR 900ЕК «Коршун» для поиска взрывных устройств // Специальная техника. – 2004. – № 3. – С. 38–41.

2. Eyre-Walker R. E. A., Earp G. K. Application of Aerial Photography to Obtain Ideal Data for Condition Based Risk Management of Rail Networks, The 4th IET International Conference on Railway Condition Monitoring 18–20 June 2008, Conference Centre, Derby, UK.

3. Проект РФФИ-РЖД № 11–07–13112-офи-м-2011-РЖД «Применение ДПЛА для получения изображений железнодорожных путей и полосы отвода в целях обеспечения безопасности движения и предотвращения террористических актов».

4. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1070 с. ●

## DISTANTLY PILOTED AIRCRAFTS AND THE TRACK SECURITY

**Lievín, Boris A.** – D. Sc. (Tech), professor, rector of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

**Bugaev, Alexander S.** – D. Sc. (Phys. – Math), professor, academician of Russian Academy of Sciences, head of the department of Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Moscow, Russia.

**Ivashov, Sergey I.** – Ph.D. (Tech), head of the laboratory of remote sensing of N. Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia.

**Razevig, Vladimir V.** – senior researcher of the laboratory of remote sensing of N. Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia.

*The terrorist attacks attempts executed in Russia and abroad as well as probability of their repetition at high speed railways make it necessary to reinforce the measures of counteraction to those threats. The measures of control of the zone of tracks are engineered, including air monitoring and aerial photography, in order to ensure security of train traffic, to prevent possible acts*

*of sabotage, immediate detection of explosive devices. The article is devoted to one of these measures, namely to remotely piloted aircrafts with optical sensors. The authors substantiate their advantages, demonstrate the results of the pilot researches, and offer comparison between airplane and helicopter type aircrafts, used for monitoring.*

**Key words:** railway terrorism, explosive devices, air monitoring, security of traffic, monitoring of the track, remotely piloted aircrafts, aerial photography, optical sensors, experimental study.

## REFERENCES

1. Kalabuhov V. A., Scherbakov G. N. Experience of application of nonlinear radar set NR 900ЕК «Kite» for the detection of explosive devices [*Опыт применения нелинейного радиолокатора NR 900ЕК «Коршун» для поиска взрывных устройств*]. *Specialnaya tehnika*, 2004, Iss.3. pp.38–41.

2. Eyre-Walker R. E. A., Earp G. K. Application of Aerial Photography to Obtain Ideal Data for Condition Based Risk Management of Rail Networks, The 4th IET

International Conference on Railway Condition Monitoring 18–20 June 2008, Conference Centre, Derby, UK.

3. Project RFFI-RZD № 11–07–13112-офи-м-2011-RZD «Application of distantly piloted aircrafts to achieve images of railway tracks and right of way in order to ensure traffic security and to prevent terrorist attacks».

4. Gonsales R., Woods R. Digital processing of images. Moscow, Technospere, 2005, 1070 p.

Координаты авторов (contact information): Лёвин Б. А. (Lievín B. A.) – tu@miit.ru, Бугаев А. С. (Bugaev A. S.) – bugaev@cos.ru, Ивашов С. И. (Ivashov S. I.) – sivashov@rslab.ru, Разевиг В. В. (Razevig V. V.) – vrazevig@rslab.ru.

Статья поступила в редакцию / received 20.02.2013  
Принята к публикации / accepted 04.03.2013

The research is executed with the support of Russian foundation for fundamental researches (grant № 11–07–13112-офи-м-2011-RZD).

