

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN OIL AND GAS INDUSTRY

**О. В. Смирнов, С. В. Воробьева, Д. Г. Митрофанов, Д. А. Майоров,
А. В. Сафонов, Д. Ю. Щетинин**

O. V. Smirnov, S. V. Vorobjeva, D. G. Mitrofanov, D. A. Mayorov, A. V. Safonov,
D. Yu. Schetinin

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень

Военная академия войсковой ПВО ВС РФ, г. Смоленск

Тюменское высшее военное-инженерное командное училище, г. Тюмень

Ключевые слова: *беспилотный летательный аппарат; нефтегазовая индустрия; радиолокация;
импульсная техника; мониторинг*

Key words: *unmanned aerial vehicle; oil and gas industry; radar; pulse technique; monitoring*

Среди летательных аппаратов, которые могут быть использованы или используются для нужд предприятий поиска, разведки, транспорта и переработки углеводородов наиболее распространены в настоящее время беспилотные летательные аппараты — ЛА.

Геологическая разведка предполагает проведение ряда дорогостоящих, длительных и часто рискованных экспедиций с применением оптических приборов, лазерных сканеров, инфракрасных датчиков и цифровых камер. В труднодоступные места геологи могут попасть только вертолетом. Преимущества использования геологами беспилотных летательных аппаратов для разведки очевидны: такие операции намного дешевле по вложениям, не так опасны (к тому же выполнимы) по сравнению с полетами вертолета по сложной местности, собранная информация является более точной, полученные изображения — более четкими и различимыми, легко сопоставимыми с картой местности. Создать стереоскопические изображения, а затем построить 3D-модели на основе таких данных не представляет сложности.

В газовой промышленности возможно авиационное беспилотное патрулирование трасс магистральных трубопроводов, обследование линейной части магистральных газопроводов по материалам авиационной беспилотной съемки, картографирование объектов реконструкции и строительства, обнаружение самовольных пусков газа. Оптимальное сочетание современных средств дистанционного зондирования, включая радиолокационное, обработки и передачи данных позволяет развернуть систему информационного обеспечения потребителей, в том числе ОАО «Газпром», покрывающую большинство территорий и обеспечивающую высококачественный своевременный и бесперебойный сбор данных, критических для безопасности функционирования объектов.

При эксплуатации сооружений и систем трубопроводного транспорта беспилотные летательные аппараты, кроме поисков утечек, несанкционированных врезок, оперативного картографирования, эффективно используются для контроля производственных работ на объектах строительства и реконструкции.

Транспортировка нефти и газа по магистральным трубопроводам вызывает необходимость в обеспечении надежной работы трубопроводных систем. Внештатные ситуации на линейных объектах нефтегазовой отрасли могут нанести не только большой экономический ущерб из-за потерь продукта и нарушения непрерывного процесса производства в смежных отраслях, но и могут сопровождаться загрязнением окружающей среды, возникновением пожаров и даже быть угрозой жизни людей.

Естественное старение трубопроводов и в связи с этим значительное повышение требований к их экологической безопасности — характерные особенности условий работы трубопроводного транспорта. Эти моменты и определяют основные направления совершенствования системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в отрасли. К одному из таких направлений относят внедрение систем мониторинга технического состояния магистральных трубопроводов и их объектов.

Процессы взаимодействия газопроводов и нефтепроводов с окружающей средой идут на больших территориях. Оперативно оценить их масштабы и состояние можно лишь на основе применения дистанционных методов, позволяющих получать принципиально новую по качеству и полноте информацию не только в контрольных точках, но, что особенно важно, по всей трассе в целом.

Дистанционная фотосъемка, в том числе с беспилотных аппаратов, применяется как для непрерывного одновременного контроля загрязнения природной среды (земной поверхности, водных акваторий и приземной атмосферы), так и для контроля технического состояния объектов на протяжении водных и наземных нефтяных и газовых трасс. Кроме того, данные дистанционного мониторинга дают возможность оперативно выявлять и точно определять координаты неожиданно случающихся крупных аварий на нефте- и газопроводах, зон опасного проявления стихийных природных процессов, которые могут привести к таким авариям, а также отслеживать и прогнозировать чреватые разрывами магистральных трубопроводов медленные однонаправленные геодинамические деформации земной поверхности.

Методика беспилотного обследования высоковольтных линий электропередач с воздуха с использованием летательных аппаратов зарекомендовала себя в различных отраслях России, в том числе и в нефтегазодобывающих. Беспилотная аэрофотосъемка ЛЭП при облете линий позволяет существенно сократить время на поиск повреждений ЛЭП при их аварийном отключении. Так, например, если обследование одной высоковольтной линии, расположенной на труднодоступном лесном участке, по земле может затянуться на несколько дней, то осмотр с воздуха позволяет обследовать линию электропередачи по всей ее длине за несколько часов.

Анализ разработок отечественных производителей показывает, что имеются разработки по всем основным типоразмерам беспилотных летательных аппаратов. Уровень многих соответствует современному уровню развития авиастроения, средств связи, управления и систем дистанционного зондирования. Некоторые из разработок находятся в стадии готовности к серийному производству прототипов и предлагаются в качестве законченных систем, включающих носители различного типоразмера, комплексы целевой нагрузки, средства наземной поддержки и обработки информации.

Интерес вызывают разработки, представляющие собой комплексное системное интегрирование несущей платформы, средств сбора и обработки данных мониторинга, в том числе радиолокационного.

Постоянное совершенствование радиотехнических методов обнаружения и распознавания различных объектов, измерения их координат и определения импульсных характеристик (ИХ) отклика разнообразных объектов нефтегазового комплекса предполагает дальнейшее изучение методик идентификации посредством направленного излучения и приема отраженных от объектов радиоволн (активная радиолокация) или приема собственного радиоизлучения, что связано и с совершенствованием импульсной техники.

С целью повышения эффективности применения летательных аппаратов в нефтегазовом комплексе одним из авторов исследовались особенности построения импульсных характеристик летательных аппаратов при использовании зондирующих сигналов с поимпульсной перестройкой частоты от импульса к импульсу в пачке.

Поимпульсная перестройка частоты относится к одному из перспективных направлений развития радиолокации. Применение поимпульсной перестройки частоты по случайному закону совместно с изменением периода повторения зондирующих сигналов позволяет снизить влияние как традиционных, так и перспективных видов помех. Кроме повышения помехоустойчивости использование поимпульсной перестройки частоты улучшает разрешающую способность по дальности, что позволяет использовать сигналы с перестройкой частоты для решения задачи идентификации летательных аппаратов ЛА на основе построения их импульсных характеристик, в которых каждому отклику соответствует определенная блестящая точка (рассеивающий центр – РЦ) на освещенной поверхности ЛА. Импульсная характеристика (ИХ) представляет собой временное распределение амплитуд импульсных откликов от РЦ, например летательного аппарата по разрешаемым элементам на оси времени. Она имеет дискретную структуру. При этом число временных отсчетов («дискретов») в ИХ равно количеству сигналов с перестройкой частоты в пачке. Расстояние между временными отсчетами ИХ определяется разрешающей способностью по времени, которая зависит от значения диапазона перестройки частоты в пачке.

Дискретный характер импульсной характеристики оказывает существенное влияние на ее информативность. При попадании отклика от рассеивающего центра между дискретами структура импульсных характеристик искажается. Это снижает их качество как сигнального признака распознавания и влияет на эффективность процесса идентификации ЛА.

В ходе проведенного исследования были выявлены особенности формирования импульсных характеристик ЛА в зависимости от взаимного расположения РЦ в радиальном направлении. Учет указанных особенностей при анализе импульсных характеристик может позволить повысить качество идентификации ЛА.

При поимпульсной перестройке несущей частоты зондирующий сигнал (ЗС) представляет собой последовательность пачек импульсов, каждый из которых имеет свою частоту, не повторяющуюся в пределах одной пачки и изменяющуюся по некоторому закону. Количество используемых частот равно числу импульсов в пачке. Значения частот выбираются из диапазона перестройки частоты с шагом перестройки. Очевидно, что наибольшую помехоустойчивость обеспечивает последовательность пачек импульсов, частота которых изменяется по случайному закону. Зондирующий сигнал может состоять, например, из последовательностей пачек по 8 импульсов с определенным периодом повторения импульсов и периодом повторения пачек. Частота импульсов в пачках изменяется по случайному закону. Закон перестройки частоты для каждой пачки импульсов различен, но заранее известен.

Согласованная фильтрация импульсов различной частоты из состава одной пачки, отраженных от движущегося многоточечного ЛА, позволяет получить частотную характеристику ЛА, которая представляет собой совокупность откликов согласованных приемников на отраженные сигналы разных частот из состава пачки в определенный момент времени. Такое математическое представление отраженных от ЛА импульсов является удобным, так как позволяет проводить цифровое когерентное сложение сиг-

налов с перестройкой частоты с помощью обратного преобразования Фурье. После устранения фазовых набегов, связанных с радиальным перемещением ЛА, указанная операция позволяет получить и ИХ ЛА (совокупность откликов РЦ объекта на воздействие в виде дельта-функции). Этим и определяется термин *частотная характеристика*.

Отклики согласованных приемников достигают своего максимума на интервале времени, являющегося функцией времени запаздывания импульса, отраженного от РЦ, скорости распространения электромагнитных волн, количества РЦ на поверхности ЛА. Очевидно, что для наиболее информативной обработки отраженных сигналов целесообразно использовать их отсчеты на интервале, определяемом данной функцией.

Зависимость амплитуды откликов соседних РЦ носит периодический характер. Это явление объясняется принципом суперпозиции и когерентностью сложения фаз сигналов, отраженных от разных РЦ. Амплитуда отклика РЦ в ИХ зависит от взаимного расположения соседних РЦ: чем дальше расположен рассеивающий центр, тем меньшее влияние на колебания амплитуды его отклика оказывает наличие других РЦ. Дополнительные исследования подтвердили данное утверждение.

Таким образом, можно сделать промежуточные выводы. Попадание рассеивающего центра между дискретами импульсных характеристик приводит к искажению, выражающемуся в снижении или увеличении амплитуды отклика от рассеивающего центра, распределении амплитуды отклика от одного рассеивающего центра на два дискрета импульсной характеристики и появлении у отклика своеобразного «пьедестала», распределенного по всей ширине окна импульсной характеристики.

Описанных искажений ИХ можно избежать при увеличении диапазона перестройки частоты, которое повлечет за собой повышение разрешающей способности. Например, увеличение диапазона перестройки частоты в два раза во столько же раз уменьшит временной интервал между смежными отсчетами в окне ИХ. В этом случае для сохранения ширины «окна» импульсных характеристик на прежнем уровне необходимо в два раза увеличить количество импульсов в пачке, что приведет к увеличению числа дискретов ИХ.

При перемещении ЛА отклики РЦ плавно перетекают из одного дискрета в другой. При этом, если РЦ окажется ровно посередине между дискретами, амплитуда отклика в соседних дискретах импульсных характеристик будет равна. Аналогичная ситуация возникает и для случая изменения временного положения отклика от одного рассеивающего центра.

На практике расстояния между РЦ ЛА и точкой опорной дальности (точкой опорного времени в импульсных характеристиках) являются случайными величинами. В связи с этим амплитуды откликов РЦ в ИХ тоже случайны. При этом амплитуда некоторых откликов может характеризовать реальную эффективную площадь рассеивания (ЭПР) рассеивающего центра (при близком расположении отклика от РЦ и отсчета ИХ), а амплитуда других откликов может характеризовать ЭПР рассеивающего центра с некоторой ошибкой (эта ошибка может достигать 40 %). Следовательно, для использования ИХ в задачах идентификации ЛА при обучении автомата принятия решения (например искусственной нейронной сети) необходимо учитывать указанные искажения, вызванные несовпадением откликов РЦ и отсчетов ИХ (эти искажения можно назвать *инструментальными*).

На первый взгляд одним из вариантов устранения искажений импульсных характеристик, вызванных несовпадением откликов РЦ с отсчетами характеристики, может быть изменение положения точки опорного времени. Это может привести к увеличению амплитуды некоторых откликов, но при этом отклики от других РЦ могут оказаться между дискретами импульсных характеристик, что снова приведет к снижению их амплитуды и искажению ИХ. Поэтому вариант устранения искажений ИХ за счет смещения точки опорного времени может оказаться неэффективным.

Поэтому наиболее эффективным способом устранения искажений ИХ, вызванных несовпадением откликов РЦ с отсчетами, следует признать увеличение разрешающей способности за счет увеличения диапазона перестройки частоты и пропорционального увеличения количества импульсов в пачке сигналов с перестройкой частоты (СПЧ).

При этом, если техническая реализация большого количества импульсов в пачке в конкретной РЛС окажется невозможной, можно прибегнуть к известному способу искусственного формирования отсчетов частотной характеристики за счет так называемого «заполнения нулями» [1].

Таким образом, можно отметить:

- попадание откликов рассеивающего центра между дискретами импульсной характеристики приводит к искажению, выражающемуся в изменении амплитуды откликов, распределении их амплитуды на два соседних дискрета импульсной характеристики и появлении у откликов своеобразных «пьедесталов», распределенных почти по всей ширине окна импульсной характеристики;
- взаимное расположение рассеивающих центров оказывает влияние на амплитуду их откликов в импульсной характеристике; при этом, чем дальше расположены рассеивающие центры друг от друга, тем меньшее влияние на колебания амплитуды откликов соседних рассеивающих центров они оказывают;
- на практике расстояния между РЦ ЛА и точкой опорной дальности (точкой опорного времени в импульсной характеристике) являются случайными величинами, следовательно, амплитуды откликов рассеивающего центра в импульсной характеристике тоже случайны;
- для использования импульсной характеристики в задачах идентификации ЛА при обучении системы идентификации необходимо учитывать искажения характеристики, вызванные несовпадением откликов рассеивающего центра и отсчетов импульсной характеристики.

Выводы из вышеизложенного представляются в попытке связать актуальность многоцелевого использования беспилотных летательных аппаратов во многих составляющих нефтегазовой сферы с необходимостью совершенствования оптимизации радиоправления летательными аппаратами с использованием радиолокации для обслуживания углеводородной индустрии.

Список литературы

1. Митрофанов Д. Г., Сафонов А. В., Прохоркин А. Г. Применение искусственных нейронных сетей при распознавании типов воздушных целей по радиолокационным изображениям // Оборонная техника. – М.: ФГУП НТИЦ «Информтехника», 2005. – № 4-5. – 46 с.

Сведения об авторах

Смирнов Олег Владимирович, д. т. н., профессор кафедры «Электроэнергетика», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 89129275192, e-mail: oleg_smirnov_1940@mail.ru

Воробьева Сима Васильевна, д. т. н., профессор кафедры «Техносферная безопасность», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 89129275191, e-mail: svorobeva@mail.ru

Митрофанов Дмитрий Геннадьевич, д. т. н., профессор, старший научный сотрудник лаборатории, Военная академия войсковой ПВО ВС РФ, г. Смоленск, тел. 89529902760, e-mail: mdgvapvo@yandex.ru

Майоров Дмитрий Александрович, доцент кафедры «Радиотехническое наблюдение», Военная академия войсковой ПВО ВС РФ, г. Смоленск, тел. 89043601193, e-mail: d-mayorov@mail.ru

Сафонов Алексей Викторович, к. т. н., начальник кафедры «Электроснабжение и радиотелемеханика», Тюменское высшее военно-инженерное командное училище (военный институт), тел. 89199367647, e-mail: sulaco33@yandex.ru.ru

Щетинин Дмитрий Юрьевич преподаватель кафедры «Электроснабжение и радиотелемеханика», Тюменское высшее военно-инженерное командное училище (военный институт), тел. 89220085790, e-mail: aleksankuleshov@yandex.ru

Information about the authors

Smirnov O. V. Doctor of Engineering, professor of the chair «Electrical power engineering», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 89129275192, e-mail: oleg_smirnov_1940@mail.ru

Vorobjeva S. V. Doctor of Engineering, professor of the chair «Technosphere safety», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 89129275191, e-mail: svorobeva@mail.ru

Mitrofanov D. G. Doctor of Engineering, professor, senior scientific worker of the laboratory, Military Academy of the Army Air Defense of Air Forces, RF, Smolensk, phone: 89529902760, e-mail: mdgvapvo@yandex.ru

Mayorov D. A., associate professor of the chair «Radio radar monitoring», Military Academy of the Army Air Defense of Air Forces, RF, Smolensk, phone: 89043601193, e-mail: d-mayorov@mail.ru

Safonov A. V. Candidate of Science in Engineering, head of the chair «Electric power supply and radio telematics», Tyumen Higher Education Military Engineering Officers College (Military Institute), phone: 89199367647, e-mail: sulaco33@yandex.ru.ru

Schetinin D. Yu., lecturer of the chair «Electric power supply and radio telematics», Tyumen Higher Education Military Engineering Officers College (Military Institute), phone: 89220085790, e-mail: aleksankuleshov@yandex.ru