

**ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ НАБЛЮДЕНИЯ ЦЕЛЕЙ  
В СОВРЕМЕННОМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ РАДИОЛОКАТОРЕ**

**Денисенков Дмитрий Анатольевич**

кандидат физико-математических наук, преподаватель кафедры технологий и средств геофизического обеспечения ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны РФ (ВКА им. А.Ф. Можайского).

*E-mail:* dimasden@yandex.ru.

**Жуков Владимир Юрьевич**

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологий и средств геофизического обеспечения ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны РФ (ВКА им. А.Ф. Можайского).

*E-mail:* vuzhukov2002@list.ru.

**Щукин Георгий Георгиевич**

доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры технологий и средств геофизического обеспечения ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны РФ (ВКА им. А.Ф. Можайского).

*E-mail:* ggshchukin@mail.ru.

*Адрес:* 197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13.

*Аннотация:* Рассматриваются новые возможности современных метеорологических радиолокаторов, появившиеся в результате развития техники в последние несколько десятилетий. Стремление получать больше информации о наблюдаемых целях ведёт к их усложнению, внедрению когерентного режима работы, двух видов поляризации излучаемой электромагнитной волны и т.п. Кроме решения поставленных задач данные технические новшества могут быть применены в других областях. В частности, для оптимизации условий наблюдения полезного сигнала. Рассматриваются перспективные методы использования в этих целях сложного зондирующего импульса, двойной поляризации излучаемой электромагнитной волны и оценок поляризационных параметров наблюдаемой цели. Показывается, что с их помощью можно увеличить метеорологический потенциал радиолокатора, расширить интервал однозначного определения радиальной скорости гидрометеоров, повысить эффективности борьбы с отражениями от местных предметов. Исследуется влияние применения данных методов на качество получаемых при этом оценок. Доказывается, что при определённых условиях упомянутые новшества не вносят каких-либо существенных изменений в точность получаемых оценок. Предлагаемый метод подавления помех, создаваемых местными предметами, выгодно отличается от ныне существующих тем, что применим к случаю одновременного поступления на вход радиолокатора полезного и помехового сигналов.

*Ключевые слова:* метеорологический радиолокатор, сложный сигнал, поляризационные параметры сигнала, борьба с отражениями от местных предметов, метеорологический потенциал.

**Введение**

Последние 30 лет характеризуются бурным развитием радиолокационной метеорологии, в результате которого применяемое в этой области оборудование обогатилось новыми техническими решениями [1]. Изначально заложенные для решения какой-то конкретной задачи, они в качестве побочного эффекта порождают новые возможности, недоступные прежней технике. В качестве примера можно привести поляризационные характеристики

отражений метеообразования, использование которых преследовало цель идентифицировать фазовое состояние наблюдаемых гидрометеоров [2, 3]. Однако предоставляемые при этом дополнительные возможности открывают широкие перспективы для расширения интервала однозначного измерения радиальной скорости наблюдаемых объектов и борьбы с отражениями от местных предметов.

### Использование поляризационных характеристик отражений метеоцели

*Возможность расширения интервала однозначного измерения радиальной скорости гидрометеоров в поляриметрическом радиолокаторе*

Одной из задач обработки данных радиолокатора является устранение неоднозначностей. Частота повторения зондирующих импульсов, как правило, задаётся, исходя из требуемой максимальной дальности действия изделия, при этом возникают проблемы с однозначностью измеряемых спектральных параметров, которые широко используются для восстановления профиля ветра [4, 5] и обнаружения таких опасных явлений, как сдвиг ветра [6, 7, 8, 9], микропорыв [10], торнадо и др.

К примеру, у радиолокатора ДМРЛ-С в режиме «скорость» частота повторения  $T_n$  равна 1 кГц. Она обусловлена требованием приёма информации с дальности 125 км. При длине волны  $\lambda = 5,3$  см граница интервала однозначного измерения средней радиальной скорости частиц будет

$$V_{\text{гран}} = \frac{\lambda}{4T_n} = 13,25 \text{ м/с.} \quad (1)$$

Данная величина явно недостаточна для оценки упомянутой скорости во всем возможном диапазоне, который в ТЗ был задан от  $-48$  до  $48$  м/с. Расширения границ добиваются вобуляцией частоты повторения  $F_n$ , что усложняет радиолокатор и снижает точность получаемых оценок [11].

В ДМРЛ-С используются две частоты повторения –  $F_n = 1$  кГц и  $F_n = 1,2$  кГц. Для уменьшения погрешностей желательно иметь одну и максимально возможную частоту повторения. Однако её увеличение более некоторого предельного значения, определяемого максимальной дальностью наблюдений, ведёт к неоднозначности измерения расстояния до целей. Чтобы этого не происходило, надо «окрасить» импульсы в каждом интервале зондирования. Это даст возможность различать сигналы, пришедшие одновременно с разных

дальностей. Под «окраской» понимается придание импульсам определённых свойств, делающих их ортогональными. Одним из вариантов «окрашивания» излучаемых импульсов является использование электромагнитных волн различной поляризации.

Поскольку элементарные отражатели, с которыми имеет дело метеорологический радиолокатор – это тела вращения, оптимальным для него является линейный поляризационный базис. Поэтому все без исключения метеорологические радиолокаторы с двойной поляризацией излучают вертикально и горизонтально поляризованные импульсы. При этом из двух возможных режимов излучения поляризованных волн – одновременное или попеременное – выбирается, как правило, первое. Это связано с желанием получить максимальную точность измерений, которая, как доказано В.М. Мельниковым и Д.С. Зрнич [12], больше именно при одновременном излучении. Однако и для случая попеременного излучения можно показать, что при определённых значениях частоты повторения импульсов точности измерения дифференциальной отражаемости, дифференциальной фазы и модуля коэффициента взаимной корреляции поляризационных составляющих принимаемого сигнала будут не менее высокими. При этом частота повторения в режиме попеременного излучения горизонтально и вертикально поляризованных волн будет в два раза больше той, что имеет место при одновременном их излучении, что приведёт к соответствующему увеличению интервала однозначного измерения радиальной скорости гидрометеоров.

#### *Применение поляризационных параметров сигнала для борьбы с отражениями от местных предметов*

Еще одной областью, в которой открываются широкие возможности для многопараметрического радиолокатора, является борьба с отражениями от местных предметов. Эти помехи, создаваемые различными неровностями земной поверхности, деревьями, зданиями,

вышками и т.п. объектами, способны маскировать полезный сигнал. Их подавление – сложная задача, существующая практически во всех видах радиолокаторов.

В недавнем прошлом, когда МРЛ измеряли только мощность принимаемых отражений, данная проблема решалась с помощью «карты «местников», однако эффективность такой методики была очень низкой из-за того, что отражающие способности местных предметов зависят от сложившихся метеоусловий и могут изменяться под их воздействием в несколько раз.

Появление новых измеряемых метеорологических радиолокаторами параметров позволяет использовать иные принципы разделения полезного и помехового сигналов, что значительно повышает эффективность решения рассматриваемой задачи.

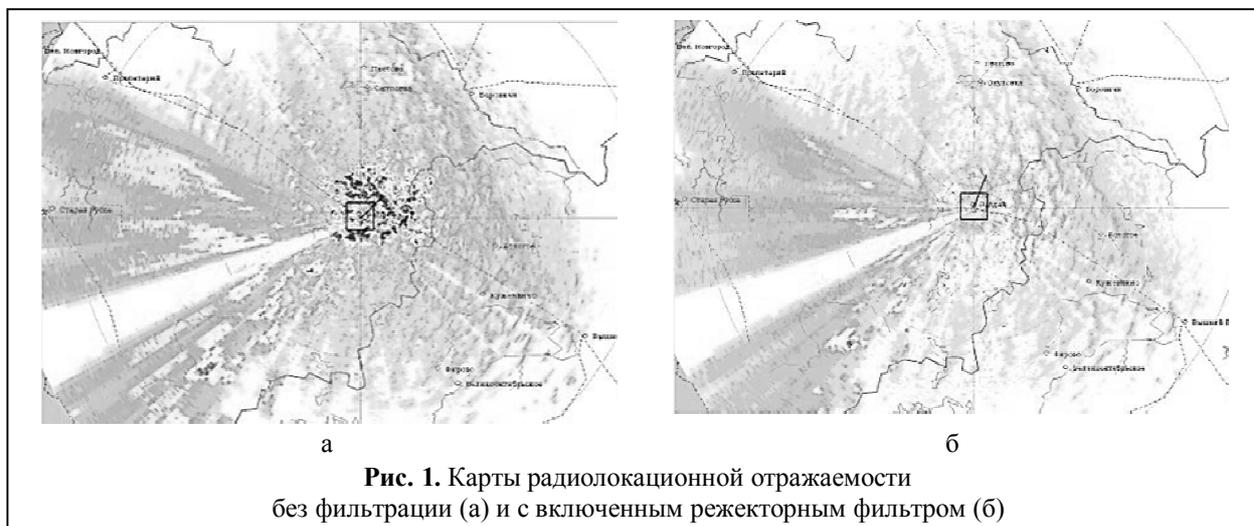
Внедрение в практику радиометеорологических наблюдений когерентного режима работы сделало возможным применение для этих целей частотных режекторных фильтров, настроенных на нулевой доплеровский сдвиг частоты. Данная методика была давно известна в классической радиолокации точечных целей. Однако в метеорологической радиолокации дело осложняется тем, что спектры отражений от метеоцелей гораздо более широкие, чем от точечных, и могут содержать составляющие с нулевой частотой. В результате частым явлением становится «повреждение» фильтром полезного сигнала. Пример такого случая пред-

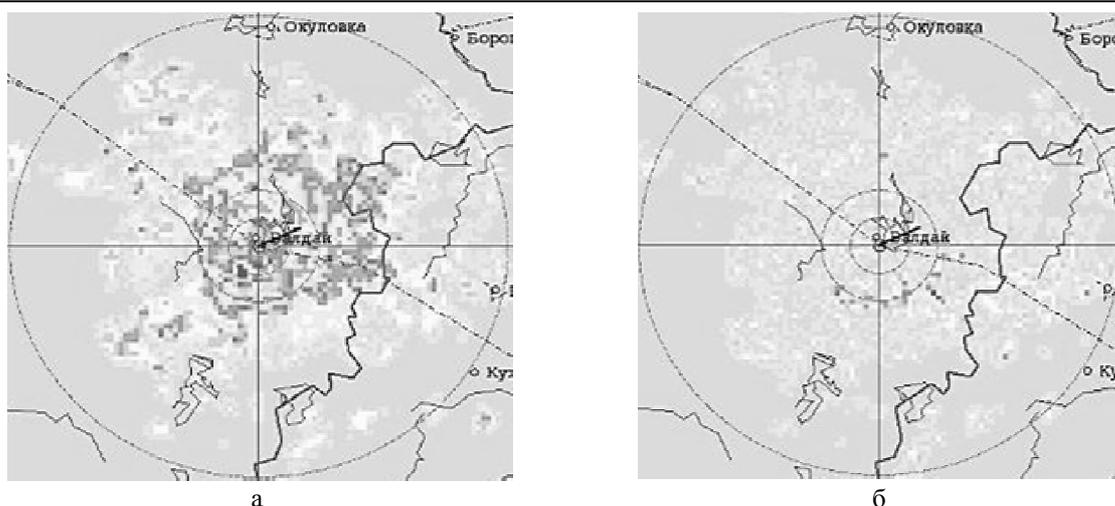
ставлен на рис. 1.

На приведённом рисунке хорошо видно, как вместе с местными предметами пропала часть полезного сигнала. В частности, в среднем на 10 дБ уменьшается радиолокационная отражаемость облачного массива, расположенного к востоку от радара на расстоянии 25–50 км. На западе также видно значительное подавление отражений от метеоцелей в радиусе 100 км.

Следовательно, для эффективного подавления отражений от местных предметов надо привлекать другие критерии, в качестве которых могут выступить поляризационные характеристики принимаемых отражений. Полезными в этом плане могут быть дифференциальная отражаемость и модуль коэффициента взаимной корреляции поляризационных составляющих сигнала.

Применение первого из них основано на том, что местные предметы имеют, как правило, вертикальную пространственную ориентацию, а, следовательно, отрицательное его значение. Но отрицательное значение дифференциальной отражаемости могут иметь и метеорологические образования. Поэтому распознавать помеху по значению только одного параметра будет неправильно. В блоке первичной обработке информации (ПОИ) радиолокатора ДМРЛ-С был реализован алгоритм, основанный на одновременном использовании двух критериев – нахождение среднего значения





**Рис. 2.** Карты радиолокационной отражаемости без фильтрации отражений от местных предметов (а) и с фильтрацией по критериям нулевой средней частоты и отрицательной дифференциальной отражаемости (б), полученные с интервалом 10 минут

спектра радиальных скоростей частиц в пределах  $\pm 2$  м/с и дифференциальная отражаемость меньше  $-0,5$  дБ. Пример его применения представлен на рис. 2.

Эффективность данного алгоритма достаточно высока, но всех вопросов он все равно не снимает. По-прежнему слабым местом остаётся случай смеси сигнала с помехой. Его распознавание по рассмотренным выше методикам затруднено главным образом из-за того, что средняя частота спектра в данном случае может значительно отличаться от нуля. Следовательно, для выявления рассматриваемой ситуации необходим более надёжный критерий, в качестве которого может выступить модуль коэффициента взаимной корреляции поляризационных составляющих принимаемого сигнала.

Значение упомянутого параметра лежит в пределах  $0,95-1$  для отражений, создаваемых метеорологическими целями, и  $0-0,5$  для всех остальных. Следовательно, при превышении им порога  $0,95$  следует считать, что никаких примесей помехи в принимаемом сигнале нет и его можно смело пропускать на дальнейшую обработку. В противном случае, прежде всего, должно проверяться наличие в спектре сигнала составляющей с нулевой частотой, т.к. именно она является необходимым условием присут-

ствия отражений от местных предметов. В случае её отсутствия наблюдаемая цель идентифицируется как неметеорологическая, а созданные ею отражения пропускаются на дальнейшую обработку.

При наличии указанной составляющей её следует удалить с последующим вычислением для оставшейся части сигнала, во-первых, мощности и, во-вторых, модуля коэффициента корреляции поляризационных составляющих. Если оставшаяся мощность близка к нулю, радиолокатор наблюдал один только местный предмет и соответствующий ему сигнал должен быть исключён из обработки. Если же мощность достаточно велика, а второй упомянутый параметр увеличился, значит, мы имеем дело со смесью отражений от метеоцели и помехи. Следовательно, удаление составляющих спектра оправдано, и дальнейшие действия зависят от полученного нового значения модуля коэффициента взаимной корреляции. В случае его попадания в интервал  $0,95-1$  помеху следует считать подавленной. Если же оно остаётся меньше приведённых значений, процедуру следует повторять, увеличивая ширину режекторного фильтра до предельно возможной для отражений от местного предмета величины. Очевидно, что шаг данного увеличения зависит от многих факторов (объёма обра-

батываемой выборки, возможностей применяемой вычислительной техники и т.д.). В простейшем случае достаточно пропустить сигнал один раз через фильтр с выбранной на основании опыта ранее проводимых наблюдений полосой.

Если после приведённой выше обработки значение модуля коэффициента корреляции поляризационных составляющих сигнала остаётся менее 0,95, следует признать, что радиолокатор наблюдает цель метеорологического происхождения, и отражённый ею сигнал пропустить на дальнейшую обработку в первоначальном виде без пропускания через режекторные фильтры.

#### Применение сложного зондирующего импульса

Толчком к применению сложного зондирующего импульса явилось стремление Росгидромета получить радиолокатор со средней наработкой на отказ 3000 часов. При этом импульсная мощность зондирующего импульса должна быть не менее 250 кВт. Устройств, обеспечивающих одновременно такую мощность и такую наработку на отказ, по крайней мере на момент проектирования указанного радиолокатора, не существовало. Единственным выходом из сложившейся ситуации явилось применение технологии сжатия при приёме излучаемого сложного импульса, что позволило бы построить генератор на основе клистрона с импульсной мощностью 15 кВт, обладающего требуемой наработкой на отказ.

На момент разработки ДМРЛ-С ни в одном серийном метеорологическом радиолокаторе подобные сигналы не применялись. Имели место несколько пробных экспериментов [13, 14]. Поэтому в результате выполнения специальной научно-исследовательской работы ОАО «НПО «ЛЭМЗ» был спроектирован уникальный нелинейно-частотно-модулированный



(НЧМ) импульс, отвечающий всем сформированным на тот момент требованиям, и прежде всего требованию величины боковых лепестков после сжатия не хуже  $-50$  дБ от максимального значения. За основу был взят модифицированный ЛЧМ импульс. Форма сигнала на выходе фильтра сжатия представлена на рис. 3 [15]. Достигнутый уровень боковых лепестков составил  $-71,7$  дБ, длительность на уровне  $-3$  дБ равна 1 мкс, коэффициент сжатия равен 60.

#### Использование сложного сигнала для увеличения метеорологического потенциала радиолокатора

Первые метеорологические радиолокаторы, выпускаемые в прошлом веке, будучи некогерентными, укомплектовывались магнетронами в качестве СВЧ-генераторов. Их импульсной мощности (до 250 кВт для длины волны 3,2 см) хватало для надёжного наблюдения метеостановки в окружающем пространстве при условии, что измерению подлежит лишь мощность эхо-сигналов. Задача своевременного обнаружения опасных явлений, связанных с ветром, восходящими или нисходящими потоками воздуха в этом случае даже не ставилась ввиду принципиальной невозможности её решения.

Появление первых когерентных МРЛ в корне изменило сложившуюся ситуацию. Теперь к обнаруживаемым метеорологическим радиолокатором опасным явлениям наряду с

теми, что связаны с кучевой облачностью (гроза, град, смерч), добавились перечисленные выше явления, совершенно от последних независимые. Существовать они могут в «числом небе» в отсутствии каких-либо гидрометеоров. Ввиду этого остро встал вопрос повышения метеорологического потенциала радаров, вычисляемого по известной формуле

$$P_M = \frac{0,1\pi^6 P_u A_p h K_{AB}}{P_{ш} \lambda^4}, \quad (2)$$

где  $P_M$  – метеорологический потенциал;  $P_u$  – импульсная мощность передатчика;  $A_p$  – площадь раскрытия антенны;  $h$  – пространственная протяжённость зондирующего импульса;  $K_{AB}$  – коэффициент полезного действия антенно-волнового тракта при приёме и передаче;  $P_{ш}$  – уровень собственных шумов приёмника;  $\lambda$  – длина волны несущего колебания.

Именно эта важнейшая характеристика метеорологического радиолокатора связывает параметры наблюдаемого объекта: радиолокационную отражаемость ( $Z$ ), расстояние от него до радиолокатора ( $r$ ) и относительную мощность принимаемого сигнала ( $P_{np}$ )

$$\frac{P_{np}}{P_{ш}} = \frac{P_M Z}{r^2}. \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что имеется несколько путей повышения метеорологического потенциала радиолокатора:

1. Увеличить импульсную мощность передатчика. Однако возможности электровакуумных СВЧ-генераторов в этом плане уже практически исчерпаны. Кроме того, увеличение импульсной мощности ограничивается возможностями волноводов. Для того чтобы уменьшить вероятность их пробоя приходится применять системы наддува волноводного тракта сухим воздухом повышенного давления. Можно, конечно, увеличить размеры волноводов, но это влечёт за собой резкое увеличение массы и габаритов изделия в целом. Поэтому данный «экстенсивный» путь бесперспективен.

2. Использовать в качестве передающей антенны фазированную антенную решётку, каж-

дый элемент которой имеет собственный относительно маломощный когерентный передатчик. Излучаемые каждым элементом сигналы суммируются в пространстве, образуя мощный короткий импульс. Но подобное решение существенно увеличит сложность и, как следствие, стоимость радиолокатора, особенно при реализации больших антенн (более 2 м), работающих в режиме излучения сигналов с различной поляризацией.

3. Увеличить длительность зондирующего импульса. Как следствие, ухудшится разрешающая способность по дальности. Поскольку в настоящее время явно определена тенденция к получению более подробной информации о распределении различных параметров по объёму метеоцели, данный путь также нежелателен.

4. Увеличить коэффициент полезного действия антенно-волноводного тракта. К началу XXI века этот ресурс был фактически полностью выбран. Основные затухания сигнала происходят во вращающихся переходах и длинных волноводах, связывающих приёмопередатчик с антенной. Например, в МРЛ-5 суммарное затухание в тракте составляло 8 дБ. В настоящее же время новые технологии позволяют делать вращающиеся переходы, уменьшающие проходящий через них сигнал менее чем на 1 дБ. Однако и этих потерь удаётся избежать. Современная элементная база позволяет спроектировать настолько малогабаритные передатчики и приёмники, что становится возможным располагать их непосредственно на антенне, как это сделано, например, в «Метеор 50DX» производства фирмы Gematronik. Этим исключается потребность во вращающихся переходах и минимизируется длина соединительных волноводов.

5. Уменьшать уровень собственных шумов приёмника или, иначе, увеличивать его чувствительность. Перспектив уменьшения этого параметра также на данный момент не существует, ибо малошумящие усилители высокой частоты, определяющие уровень шума всего устройства, уже работают на пределе возможного.

Таким образом, реальных путей для увеличения метеорологического потенциала практически не оставалось и внедрение в практику наблюдений сложного импульса явилось неожиданным прорывом. Эквивалентная мощность радиолокатора ДМРЛ-С при пиковой мощности 15 кВт и коэффициенте сжатия 60 составила 900 кВт – недостижимую величину для РЛС с простым импульсом. При этом коэффициент сжатия 60 – не предел. Уже разработан НЧМ импульс со сжатием в 90 раз, позволяющий при сохранении всех прочих характеристик изделия ДМРЛ-С поднять эквивалентную мощность почти до 1,5 МВт.

Кроме того, ничто не мешает в новых разработках вернуться к прежним показателям надёжности и пиковой мощности клистрона более 100 кВт с одновременным применением сложного сигнала. Это позволит увеличить метеорологический потенциал радиолокаторов ещё не менее чем на 10 дБ и реализовать давнишнюю мечту радиометеорологов о работе по «чистому небу», т. е. сделать радар всепогодным.

*Использование сложного сигнала для расширения интервала однозначного определения радиальной скорости гидрометеоров*

Наряду с введением режима работы попеременного излучения горизонтально и вертикально поляризованных импульсов, как было показано ранее, добиться расширения интервала однозначного определения радиальной скорости можно применением сложного сигнала. В данном случае в качестве «окраски» импульсов может выступать знак линейной частотной модуляции сигнала. Несущая частота внутри ЛЧМ-импульса при сохранении всех его характеристик, влияющих на прохождение по приёмному тракту, может меняться по одному из следующих типовых законов

$$f = a + bt \quad (4)$$

или

$$f = (a + b\tau_u) - bt, \quad (5)$$

где  $a$ ,  $b$  – релевантные коэффициенты;  $t$  –

– время, с;  $\tau_u$  – длительность зондирующего импульса.

Каждый из этих сигналов детектируется фильтром, настроенным на «свои» параметры, и не распознаётся «чужим», т.е. импульсы являются взаимно ортогональными. Достижимая в этом случае развязка каналов равна коэффициенту сжатия импульса, т.е. примерно 18 дБ [11].

Однако при реализации данной идеи предвидится одна трудность – спектральному анализу подвергается последовательность импульсов, поочерёдно проходящих через различные фильтры. Фактически мы имеем дело с системой, параметры которой изменяются во времени, в результате чего возможны искажения спектра и, следовательно, смещения получаемых оценок. Можно показать, что смещения оценки средней частоты спектра не происходит. Смещение оценки ширины спектра существует и зависит преимущественно от средней частоты и, следовательно, может корректироваться по её оценкам.

**Заключение**

Реализованные в современном метеорологическом многопараметрическом радиолокаторе технические решения, имеющие цель решить какую-либо конкретную задачу, несут в себе потенциальные возможности по улучшению ряда других характеристик рассматриваемого изделия. Так, применение сложного зондирующего импульса, позволяющее увеличить среднюю наработку на отказ до 3000 часов, порождает возможность значительного увеличения метеорологического потенциала радиолокатора и двукратного расширения интервала однозначного определения скорости. Последнее возможно также при излучении волн различной поляризации, что изначально предназначено для распознавания агрегатного состояния наблюдаемых гидрометеоров.

Кроме этого в многопараметрических радиолокаторах возможна реализация алгоритмов подавления помех от местных предметов,

способных работать в условиях совместного наблюдения полезного и мешающего сигналов.

### Литература

1. Жуков В.Ю., Щукин Г.Г. Современные проблемы метеорологической радиолокации // Радиотехника и электроника. 2016. Т. 61 № 10. С. 927–939.
2. Информационные возможности доплеровских метеорологических радиолокаторов с двойной поляризацией / Готюр И.А. [и др.] // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2013. № 32. С. 66–83.
3. Жуков В.Ю., Рыков М.С., Щукин Г.Г. Экспериментальная проверка нового радиолокационного метода оценивания интенсивности осадков // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2018. № 52. С. 21–27.
4. Восстановление поля скорости воздушных потоков в метеорологической доплеровской радиолокации / Девяткин А.М. [и др.] // Метеорология и гидрология. 2018. № 1. С. 107–115.
5. Денисенков Д.А., Жуков В.Ю. Метод восстановления профиля ветра по оценкам ширины спектра радиолокационного сигнала // Сборник трудов VIII Всероссийских Армандовских чтений «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции радиоволн». Муром: МИ ВлГУ, 2018. С. 315–318.
6. Денисенков Д.А., Жуков В.Ю. Обнаружение сдвига ветра на основе анализа карт ширины спектра сигнала, принимаемого метеорологическим радиолокатором // Вестник РосНОУ. 2015. № 10. С. 10–13.
7. Метод обнаружения сдвига ветра при помощи доплеровского метеорологического радиолокатора / Денисенков Д.А. [и др.] // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2016. № 3 (23). С. 68–73.
8. Экспериментальная проверка метода определения сдвига ветра по ширине спектра радиолокационного сигнала / Денисенков Д.А. [и др.] // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2016. № 45. С. 113–118.
9. Денисенков Д.А., Жуков В.Ю., Щукин Г.Г. О возможности измерения сдвига ветра по направлению в доплеровском метеорологическом радиолокаторе // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2018. № 4 (662). С. 124–128.
10. Радиолокационные исследования поля ветра в атмосфере / Денисенков Д.А. [и др.] // Известия высших учебных заведений. Физика. 2016. № 12/2. С. 15–19.
11. Пушков А.А. Статистическое оценивание энергетических и доплеровских характеристик отражений от метеообъектов при их импульсном зондировании : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: 2016. 118 с.
12. Melnikov V.M., Zrnic D.S. On the Alternate Transmission Mode for Polarimetric Phased Array Weather Radar // Journal of atmospheric and oceanic technology, Vol. 32. 2015. Pp. 220–233.
13. O'Hara F., Keeler R.J. Comparison of Pulse compression & Whitening Transformation signal processing // Proceedings of the ERAD, 2006.
14. Использование сложных зондирующих сигналов с цифровым формированием для доплеровских метеорологических радиолокаторов / Вовшин Б.М. [и др.] // Цифровая обработка сигналов. 2009. № 2. С. 65–74.
15. Когерентный метеорологический радиолокатор с поляризационной селекцией для оснащения сети Росгидромета / Абшаев М.Т. [и др.] // Труды XXIII Всероссийской научной конференции «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола. 2011. С. 14–18.

Поступила 25 февраля 2019 г.

English

## OPTIMIZATION OF CONDITIONS FOR TARGET SURVEILLANCE BY THE CURRENT WEATHER RADAR

**Dmitry Anatolyevich Denisenkov** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Lecturer, Department of Technologies and Army Geophysical Support. “Military space academy named after A.F. Mozhaysky”, Ministry of Defense of the Russian Federation.

*E-mail:* dimasden@yandex.ru.

*Address:* 197082, St. Petersburg, Zhdanovskaya str., 13.

**Vladimir Yuryevich Zhukov** – Candidate of Technical Sciences, Senior research associate, Department of technologies and Army geophysical support. “Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky”, Ministry of Defense of the Russian Federation.

*E-mail:* vuzhukov2002@list.ru.

*Address:* 197082, St. Petersburg, Zhdanovskaya str., 13.

**Georgy Georgyevich Shchukin** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Technologies and Army Geophysical Support Federal State-owned Military Educational

Institution of Higher Education "Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky", Ministry of Defense of the Russian Federation.

E-mail: ggshchukin@mail.ru.

Address: 197082, St. Petersburg, Zhdanovskaya str., 13.

**Abstract:** The article is concerned with the analysis of optional capabilities of current weather radars, which emerged due to introduction of polarimetric measurements and composite sounding pulse. These solutions were introduced to identify the phase state of the observed hydrometeors (polarimetry) and to increase mean time between failures of weather radar (composite pulse). Alongside with successful solution of the above problems, using new radar capabilities enables to extend the interval of unambiguous range-rate measurement of the observed hydrometeors by "coloring" the transmitted pulses. To this end, both then signals with variable polarization of the radio-electronic wave and composite signal with variable symbol of linear frequency modulation can be used as a sounding pulse. It is found that there is no deterioration in the quality of obtained estimates for the signal polarization parameters with alternating changes in the polarization state while at the same time increasing twice the repetition frequency of transmitted pulses. The estimate behavior of reflection spectral parameters with alternate variation of frequency modulation symbol is investigated. It is shown that the estimation of the spectrum mean frequency is unbiased and can be used for data correction about spectrum width, the bias of which is proportional to this frequency. Another domain where polarimetric radar has great potential is struggling against ground clutter reflections. The use of differential reflectivity and cross-correlation coefficient module of the signal polarization components as additional criteria for the fact that the target is meteorological, and in addition to the previously used frequency filtering can significantly improve the suppression efficiency of ground clutter reflections.

**Keywords:** weather radar, composite signal, signal polarization parameters, struggle against ground clutter reflections.

#### References

1. Zhukov V.Yu., Shchukin G.G. Current issues of weather radar detection. Radiotekhnika i elektronika. 2016. Vol. 61. No. 10. Pp. 927–939.
2. Data capabilities of Doppler dual-polarization weather radars. Gotyur I.A. [et al.]. Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. 2013. No. 32. Pp. 66–83.
3. Zhukov V.Yu., Rykov M.S., Shchukin G.G. Experimental test of a new radar method for precipitation rate estimation. Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. 2018. No. 52. Pp. 21–27.
4. The restoration of airstream velocity field in weather Doppler radar system / Devyatkin A.M. [and colleagues]. Meteorologiya i Gidrologiya. 2018. No. 1. Pp. 107–115.
5. Denisenkov D.A., Zhukov V.Yu. Wind profile restoration method by estimate of radar signal spectrum width. Proceedings of VIII all-Russian Armand readings "Current problems of remote sensing, radar, propagation and diffraction of radio waves". Murom: MI VISU, 2018. Pp. 315–318.
6. Denisenkov D.A., Zhukov V.Yu. Wind shear detection based on the spectral width map analysis of signal received by weather radar. Vestnik RosNOU. 2015. No. 10. Pp. 10–13.
7. Method of wind shear detection using Doppler weather radar. Denisenkov D.A. [et al.]. Radiotekhnicheskie i telekommunikacionnye sistemy. 2016. No. 3(23). Pp. 68–73.
8. Experimental test of wind shear estimation method by spectrum width of radar signal. Denisenkov D.A. [et al.]. Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. 2016. No. 45. Pp. 113–118.
9. Denisenkov D.A., Zhukov V.Yu., Shchukin G.G. On measurability of wind direction shear by Doppler weather radar. Proceedings of Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky. 2018. № 4 (662). Pp. 124–128.
10. Radar studies of the wind field in the atmosphere. D.A. Denisenkov [et al.]. News of Higher Educational Institutions. Physics. 2016. No. 12/2. Pp. 15–19.
11. Pushkov A.A. Statistical estimation of power and Doppler characteristics of reflections from meteorological objects through their pulsed sounding. Candidate Thesis in Engineering Science. Moscow: 2016. 118 p.
12. Melnikov V.M., Zrnic D.S. On the Alternate Transmission Mode for Polarimetric Phased Array Weather Radar. Journal of atmospheric and oceanic technology, Vol. 32. 2015. Pp. 220–233.
13. O'hora F., Keeler R.J. Comparison of Pulse compression & Whitening Transformation signal processing. Proceedings of the ERA, 2006.
14. Use of composite sounding signals with digital formation for Doppler weather radars. Vovshin B.M. [et al.]. Cifrovaya obrabotka signalov. 2009. No. 2. Pp. 65–74.
15. Coherent weather radar with polarization selection for equipping Roshydromet network. Abshaev M.T. [et al.]. Proceedings of the XXIII all-Russian scientific conference "Radio Wave Propagation". Yoshkar-Ola. 2011. Pp. 14–18.