

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.80>

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОРТОВЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАТОРОВ С ЦЕЛЬЮ МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА В УСЛОВИЯХ ГРОЗОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Научная статья

Дмитрук В.В.<sup>1,\*</sup>, Гамбургер Ю.В.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский Государственный университет гражданской авиации, Санкт-Петербург, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (kilzone8[at]mail.ru)

### Аннотация

При выполнении полета для безопасного обхода зон грозовой активности, нужно знать размеры, границы и направление движения грозового облака. К сожалению, даже наиболее современные бортовые метеорологические радиолокаторы не способны определять с требуемой точностью вышеперечисленные параметры.

Один из подходов к решению этой проблемы, на взгляд автора, лежит в увеличении источников получения метеоинформации на борту воздушного судна в полете и перед началом его выполнения. В частности, наличие доступа к метеоинформации, получаемой с других воздушных судов, выполняющих полет в зоне с опасными явлениями погоды, позволило бы экипажу иметь более четкие представления о границах, вертикальном профиле облачности, наличия турбулентности, сдвиге ветра или обледенения. Тем самым предпринимать наиболее грамотное решение об обходе опасных явлений погоды. Все вышеперечисленное ведет к уменьшению рисков ошибки экипажа в выборе стратегии обхода, соответственно повышая уровень безопасности полета.

**Ключевые слова:** безопасность полетов, метеорологический радиолокатор, метеорологическое обеспечение полетов.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF USING AIRBORNE METEOROLOGICAL RADARS FOR AIRSPACE MONITORING UNDER THUNDERSTORM ACTIVITY CONDITIONS

Research article

Dmitruk V.V.<sup>1,\*</sup>, Gamburger Y.V.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Saint-Petersburg State University of civil aviation, Saint-Petersburg, Russian Federation

\* Corresponding author (kilzone8[at]mail.ru)

### Abstract

When flying to safely avoid areas of thunderstorm activity, it is necessary to know the size, boundaries and direction of thunderstorm cloud movement. Unfortunately, even the most modern airborne meteorological radars are not capable of determining the above parameters with the required accuracy.

One approach to solving this problem, in the author's opinion, lies in increasing the sources of weather information on board the aircraft in flight and prior to flight. In particular, having access to weather information from other aircraft flying in a hazardous weather zone would allow the crew to have a clearer understanding of the boundaries, vertical profile of cloud cover, turbulence, wind shear or icing. This would enable the crew to make the most informed decisions about avoiding hazardous weather phenomena. All of the above leads to a reduction in the risk of crew error in choosing an avoidance strategy, thus increasing the level of flight safety.

**Keywords:** flight safety, meteorological radar, meteorological support of flights.

### Введение

Неблагоприятные погодные явления с самого зарождения авиации представляли собой большую опасность для безопасного выполнения полетов. С развитием систем мониторинга состояния атмосферы их влияние на организацию и выполнение полетов существенно сократилось, однако по сей день издержки, обусловленные негативным влиянием метеорологических условий, такие как задержки или отмены рейсов, обходы зон грозовой деятельности, турбулентности и других опасных явлений погоды (ОЯП) каждый год составляют миллиарды долларов.

При выполнении полета для безопасного обхода зон грозовой активности, нужно знать размеры, границы и направление движения грозового облака. К сожалению, даже наиболее современные бортовые метеорологические радиолокаторы не способны определять с требуемой точностью вышеперечисленные параметры. Связано это не только с технической точки зрения, но и с самим принципом работы локаторов на борту.

При этом новые подходы по комплексному использованию информации бортовых метеорологических радиолокаторов позволили бы пилотам получать информацию об опасных явлениях погоды, расположенных по курсу полета, заблаговременно, следовательно, иметь больше времени для определения оптимальной стратегии обхода.

### Основная часть

Анализ погоды перед полетом начинается задолго до его начала. Необходимо понимать, что полет не начнется, пока командир и экипаж не будут уверены, что по маршруту полета отсутствуют опасные явления погоды, обойти которые невозможно.

Существуют разные источники для анализа погоды по маршруту:

- Карты ветра и температуры на различных высотах;
- Прогностические карты особых явлений погоды;
- Карты опасных явлений погоды;
- Интернет-ресурсы: windy.com, flymeteo.com и др.

Дополнительно у экипажа есть план полета, в котором вкратце упомянута метеоинформация, необходимая для анализа погоды.

Тщательный анализ погоды очень важен, поскольку позволяет избежать попадания в зону сильной турбулентности, струйных течений, гроз и т.д. Правильное решение на обход таких опасных явлений погод предотвращает самолет от сваливания, превышения максимальных значений по перегрузке и скорости, поражения разрядом статического электричества или удара молнии.

Например, на рис. 1, представлена карта ветра и температуры на эшелоне 340, на ней можно наблюдать резкое изменение направления и скорости ветра. Избежать попадания в эту область можно либо изменив эшелон полета, либо согласовав изменение маршрута с диспетчером ОрВД.

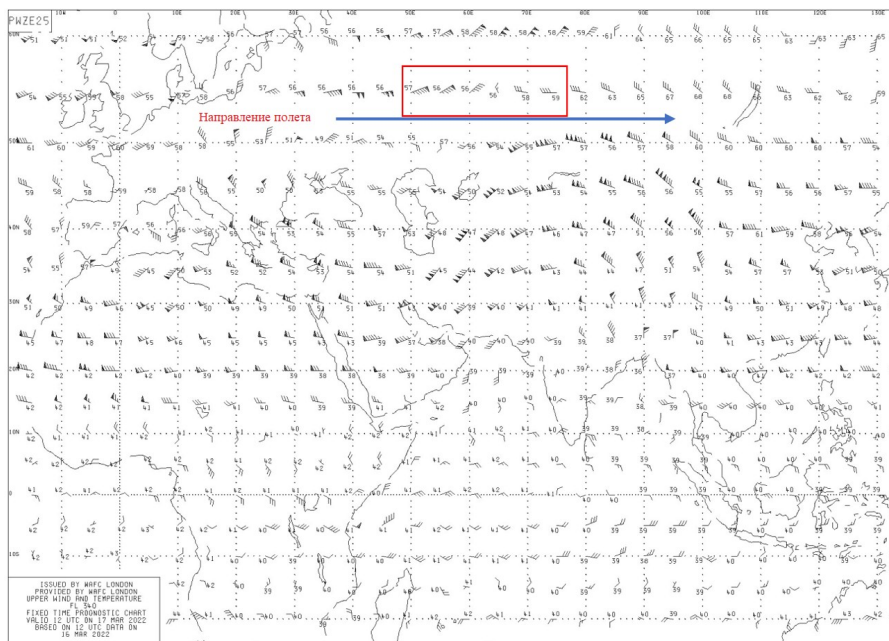


Рисунок 1 - Карта ветра и температуры  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.80.1>

Карты особых явлений погоды концентрируются на метеоявлениях, представляющих угрозы безопасности полета на средних и высоких эшелонах. Тропические циклоны, струйные течения, умеренная и сильная турбулентность, обледенение, пыльные и песчаные бури, облака вулканического пепла и др. Продолжительность действия таких карт составляет 6 часов. По ним возможно определить тенденции развития тех или иных метеоявлений и приблизительно оценить их расположение и влияние на полет. Однако очевидно, что точность таких прогнозов ни по времени, ни по местоположению недостаточна. Поэтому оперативная информация о результатах мониторинга атмосферы по маршруту полета дали бы экипажу возможность более точно определять местоположение и интенсивность опасных явлений погоды еще до начала выполнения рейса.

Наиболее труднопредсказуемым из них является турбулентность. Ее может не быть вовсе, несмотря на ее наличие в прогнозе, а может случиться, что болтанка будет намного сильнее, чем прогнозировалось и распространяется на большее количество эшелонов.

Чем выше находится самолет, тем меньше его располагаемая тяга, поэтому влияние турбулентности на больших эшелонах намного более значительно, чем на низких. Тем не менее пилоты стараются летать выше высоты тропопавзы, поскольку вероятность турбулентности там намного ниже, хотя так бывает не всегда. Приблизившись к эшелону полета близкому к максимальному, попав в сильную болтанку, из-за недостаточного запаса тяги, скорость самолета может упасть очень быстро, что может привести к сваливанию. Имея информацию о фактической болтанке на различных эшелонах, подобные риски можно было бы исключить.

На сегодняшний день воздушные суда оборудованы высокотехнологичными метеорологическими радиолокаторами, которые предоставляют большой объем данных, необходимых для осуществления самолетовождения в условиях грозовой деятельности.

На наиболее безопасных и надежных на сегодняшний день самолетах семейства Airbus устанавливаются локаторы Honeywell RDR-4000, одни из самых передовых на текущий момент. Метеолокатор Honeywell IntuVue RDR-4000 продемонстрировал существенное развитие в области бортовых радиолокаторов, ключевым преимуществом которого является возможность автоматического 3D сканирования области перед воздушным судном. Это позволило многократно увеличить точность предоставляемой метеоинформации и снизить рабочую нагрузку на экипаж [1].

Объемное 3D-сканирование непрерывно фиксирует любую погоду и рельеф местности во всем воздушном пространстве перед самолетом, от -80 до +80 градусов перед самолетом, от 0 до 60 000 футов и до 320 миль впереди. Это делает радар максимально эффективным для мониторинга ОЯП, связанных с грозовой деятельностью [2].

Но несмотря на существенный прогресс в области развития бортовых радиолокаторов, по некоторым аспектам на сегодняшний день невозможно улучшить их работу в задачах мониторинга воздушного пространства в зонах развития грозовой деятельности по техническим или иным причинам [3].

И тем не менее бортовые метеорологические радиолокаторы используются практически на всех этапах полета для своевременного определения зон опасных явлений погоды. Сканирование атмосферы происходит даже на земле, для того чтобы убедиться в безопасности взлета.

Нередки случаи, когда экипажу требуется оценить метеорологическую обстановку не по курсу полета, а в обратном направлении. Это бывает, когда схема выхода аэропорта подразумевает разворот на 90 и более градусов. В таких случаях серьезно помогает наземный метеорологический радиолокатор, который сканирует местность вокруг аэропорта на 360 градусов. Конечно, частота обновления данных невелика, порядка одного раза в десять минут, однако, для общего представления о погоде это было бы достаточно.

К сожалению, во многих аэропортах России до сих пор отсутствуют наземные метеорологические радиолокаторы, в связи с чем, оценить погодные условия в районе аэропорта перед полетом не представляется возможным. Поэтому, зная о наличии грозовых очагов в районе аэропорта, для обеспечения безопасности нередко экипажи проводят радиолокационный мониторинг атмосферы уже на этапах руления на предварительный или исполнительный старт, зная о наличии грозовых очагов в районе аэропорта, стараясь примерно определить расположение засветок и заранее согласовать с диспетчером организации воздушного движения маневр предполагаемого обхода.

Если в равнинных аэропортах есть хоть какая-то возможность определить примерную высоту и удаления грозовых очагов, то в горных это мешает сделать рельеф местности, физически ограничивая дальность действия радиолокатора. Близкая и невысокая (как кажется) преграда может существенно ограничить зону радиолокационного обзора на больших дистанциях, где особенно важны нижние лучи [4]. На рисунке 2 показан пример полной и частичной блокировки радиолокационного луча элементами рельефа на ДМРЛ-С «Минеральные Воды» [5]. Классическим примером такого аэропорта является аэропорт Сочи, в котором развитие гроз крайне распространенное явление.

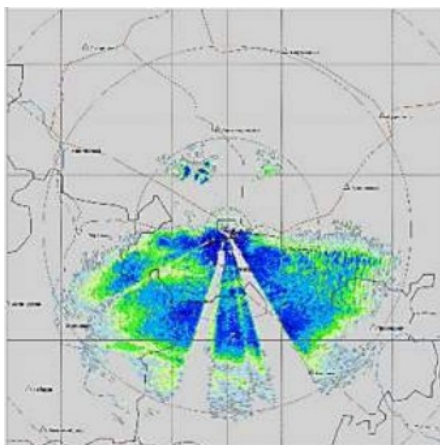


Рисунок 2 - Пример частичной блокировки радиолокационного луча естественными препятствиями  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.80.2>

Как видно на схеме вылета (рис. 3), выход на точки BINOL и ADLET подразумевает разворот на 90 и более градусов, но рельеф местности не позволяет экипажам с земли произвести оценку метеоусловий по маршруту полета.

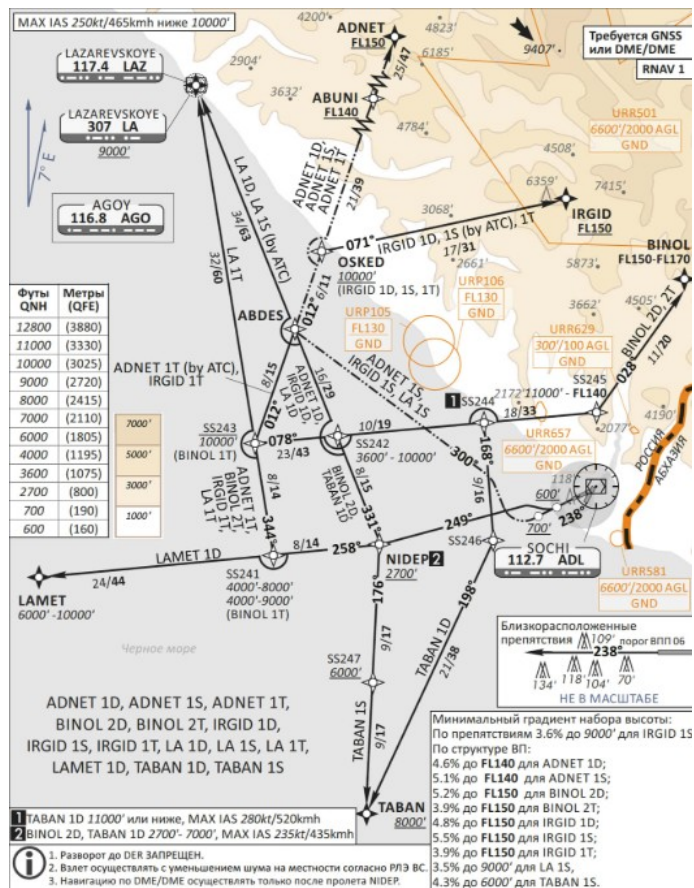


Рисунок 3 - Схема вылета аэропорта Сочи  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.80.3>

Помочь в подобной ситуации могло бы наличие информации об очагах грозовой деятельности, переданная с других воздушных судов, которые прошли или проходят опасный участок. Экипаж, получивший такую информацию, мог бы заранее оценить расположение зон грозовой деятельности и рассчитать маневр обхода или же принять решение отложить взлет до более благоприятных условий полета.

Подобная ситуация может произойти не только в районе аэродрома перед взлетом, но и непосредственно в полете. Зачастую пилоты, встречаясь в полете с атмосферными фронтами большой протяженности, не в состоянии оценить наличие путей обхода грозовой деятельности в связи с ее высокой эффективностью [6]. Тактику обхода в таких случаях приходится выбирать, используя наименее рискованный маршрут из имеющихся, однако при приближении к фронту, а затем при его пересечении ситуация меняется очень быстро, что может привести к попаданию ВС в условия грозы и сильной болтанки. В таких случаях пилоты самолетов, летящих позади, смотрят на выбранный маршрут обхода впереди идущих ВС и на основании их опыта принимают решения.

В процессе такого обхода пилоты постоянно взаимодействуют с диспетчером и друг с другом, чтобы максимально точно и быстро получать информацию об опасных зонах. Также используются сообщения типа PIREP.

Однако такой способ, конечно, помогает, но не исключает попадание в зоны опасных метеоявлений. В частности, другие самолеты на навигационном дисплее можно увидеть с помощью бортовой системы предупреждения столкновений, которая выводит информацию на дисплей о летящих рядом бортах. Но увидеть можно только самолеты, находящиеся на определенном расстоянии и высоте: приблизительно на удалении 70 км и 3000 метров выше или ниже полета. В связи с этим, на принятие решения остается не так много времени.

В качестве примера рассмотрим вылет из аэропорта Сочи.

На рисунке 4 показано прохождение атмосферного фронта в районе Кавказского хребта. Экипажем было принято решение проследовать по маршруту (рис. 6) за впереди идущим бортом. Хотя до прохода точки OSKED, у экипажа была возможность применить альтернативный вариант обхода фронта (рис. 7).



Рисунок 4 - Атмосферный фронт на экране локатора  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.80.4>



Рисунок 5 - Атмосферный фронт (вид из кабины)  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.80.5>



Рисунок 6 - Начало обхода  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.80.6>



Рисунок 7 - Возможные варианты обхода  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.80.7>

Зеленой пунктирной линией показан альтернативный маршрут обхода, красным кружком выделен самолет, за которым проследовал экипаж, синей стрелкой показана примерная область возможного безопасного пересечения фронта.

На рисунке 8 можно увидеть еще один впереди идущий борт, который выполняет обход фронта, пересекая его. Экипаж доложил сильную болтанку и электризацию ВС. Исходя из информации на дисплее и докладов экипажа, им не удалось обеспечить безопасный интервал до грозových очагов.



Рисунок 8 - Пересечение фронта  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.80.8>

Наличие информации об атмосферном фронте с наземных метеорологических радиолокаторов позволило бы экипажу избежать попадания в зону опасных метеоявлений. Однако в данном случае все ВС, следующие за первым, также совершили эту ошибку, не обеспечив безопасный интервал обхода до грозового очага.

Также существенный интерес в плане использования информации бортовых метеорологических радиолокаторов представляют участки маршрутов над горной местностью, на которых возможности получения полноценной информации наземных доплеровских метеорологических радиолокаторов ограничиваются рельефом. В таких условиях наличие оперативной информации существенно облегчило бы рабочую нагрузку на экипаж при обходе гроз.

В частности, при пролете участка маршрута по трассе над территориями Таджикистана, Афганистана и Пакистана зачастую формируются атмосферные фронты высокой активности, которые возможно увидеть перед рейсом на прогностических картах опасных явлений погоды (рис. 9), однако реально складывающиеся летно-метеорологические условия могут существенно отличаться.



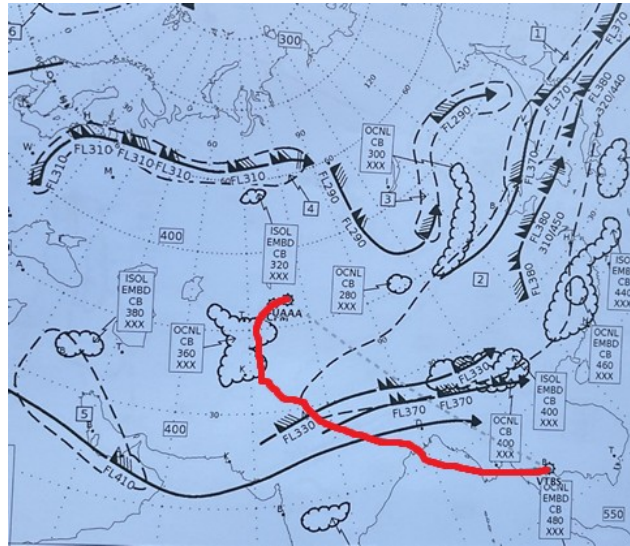


Рисунок 9 - Карта особых явлений погоды на маршруте из Алматы в Пхукет  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.80.9>

Полеты по этой трассе в основном пролегают в курортные направления, что подразумевает под собой максимальные коммерческие загрузки, следовательно, большие полетные веса, что ограничивает возможность обхода гроз сверху. Также воздушное пространство Афганистана бывает часто закрыто по политическим причинам, что также ограничивает поле для маневра.

Существенной проблемой этого маршрута так же является очень высокая минимальная высота полета в секторе – до 8-8.5 км (рис. 10). При полетах по таким маршрутам у компании должна быть обязательно подготовлена процедура аварийного снижения или снижения с одним отказавшим двигателем. Она разрабатывается для того, чтобы экипаж гарантированно имел возможность снизиться до 3000 метров в случае разгерметизации за то время пока на борту есть запас кислорода или минимальной высоты полета на одном двигателе в случае отказа другого.

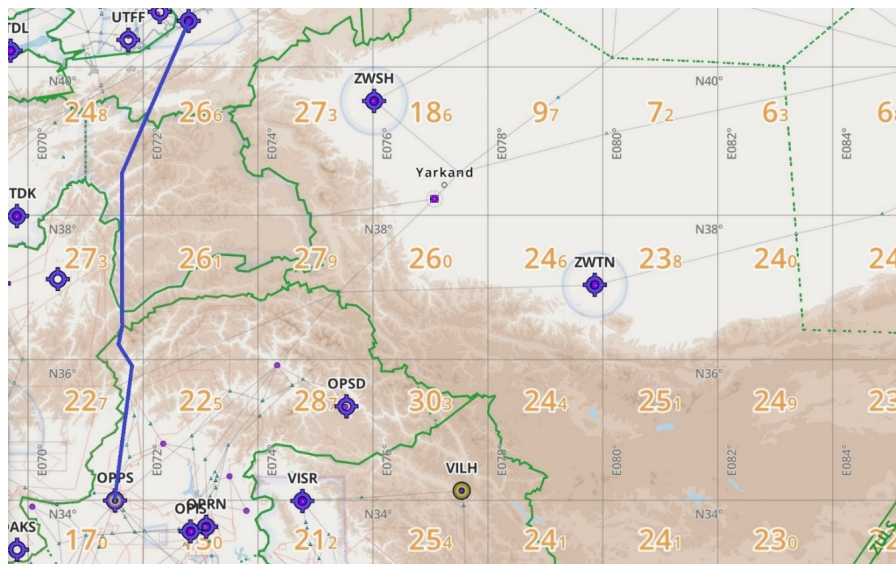


Рисунок 10 - Минимальные высоты полета  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.80.10>

Если на таком маршруте формируется атмосферный фронт высокой активности и экипажу приходится обходить его, изменяя курс полета, то на экипаж ложится огромная ответственность. Ведь при уходе с запланированного маршрута подготовленная процедура снижения в случае аварийной ситуации более не является релевантной, поскольку полет проходит вне трассы. Таким образом, экипаж должен либо на свой страх и риск выполнять обход гроз, отклоняясь от трассы, либо выполнять посадку на запасном аэродроме.

Имея возможность обмена метеорологической информацией между ВС, получаемой от бортовых радиолокаторов, таких ситуаций можно было бы избежать, заранее увидев фактическую метеорологическую обстановку.

Для повышения эффективности использования радиолокационной информации предлагается способ обмена информацией бортовых метеорологических радиолокаторов от всех воздушных судов, находящихся в районе (трассе) полета при координации органами метеорологического слежения.

Все современные ВС оборудованы множественными датчиками отслеживания параметров полета. Эти данные передаются на землю для осуществления объективного контроля за выполнением полета. Во многих авиакомпаниях выход какого-либо параметра за пределы летно-технических характеристик моментально передается на землю через систему передачи и контроля (ACARS). Следовательно, эти же данные можно было бы использовать для оценки интенсивности различных опасных метеоявлений. Для оценки турбулентности можно использовать измерение параметров боковой, продольной и вертикальной перегрузки. Для струйных течений и сдвигов ветра использовать ветер, измеряемый инерциальными системами самолета. При помощи датчиков обледенения можно определять наличие и степень обледенения.

Полученные данные можно было бы использовать для подтверждения или опровержения прогностических данных, и публиковать их на специально созданных серверах, доступ к которым был бы открыт с рабочих планшетов пилотов.

Непосредственно информацию с бортового метеорологического радиолокатора можно было бы передавать с борта на борт. Для этого будет необходимо установить программное обеспечение, которое позволило бы транслировать информацию от метеолокатора не только на навигационный дисплей, но и на рабочий планшет в кабине пилотов. Далее с него через спутниковую связь выгружать эти данные на сервер, с которого любой допущенный пользователь мог бы скачать нужные ему данные. Таким образом, экипажи на земле и непосредственно в полете могли бы узнавать оперативную информацию о погоде в районе с опасными явлениями погоды.

### Заключение

На сегодняшний день развитие технологий позволяет говорить о высоком уровне осведомленности экипажа о погоде, наблюдаемой с борта воздушного судна. Наиболее продвинутые метеорологические радиолокаторы позволяют получать информацию об опасных явлениях в автоматическом режиме, с определением уровня верхней границы и вертикальным профилем облачности.

Однако даже достигнутый уровень технологических решений не позволяет говорить о возможности полного контроля погоды на пути следования с борта воздушного судна. В связи с чем могут возникать ошибки, которые ведут к неверному истолкованию информации о погоде в результате ее искажения за счет технических ограничений или за счет дефицита этой информации. Разумеется, ошибка в выборе стратегии обхода зон опасных метеоявлений может обойти крайне дорого для авиационной системы, угрожая ей аварией или катастрофой.

Один из подходов к решению этой проблемы, на взгляд автора, лежит в увеличении источников получения метеоинформации на борту воздушного судна в полете и перед началом его выполнения. В частности, наличие доступа к метеоинформации, получаемой с других воздушных судов, выполняющих полет в зоне с опасными явлениями погоды, позволило бы экипажу иметь более четкие представления о границах, вертикальном профиле облачности, наличии турбулентности, сдвиге ветра или обледенения. Тем самым предпринимать наиболее грамотное решение об обходе опасных явлений погоды. Все вышперечисленное ведет к уменьшению рисков ошибки экипажа в выборе стратегии обхода, соответственно повышая уровень безопасности полета.

Отдельным перспективным направлением представляется получение и обмен метеорологической информацией бортовых метеорологических радиолокаторов, прежде всего о развитии грозовой деятельности и связанных с ней опасных явлений погоды, при полетах над мало освещенными в метеорологическом плане территориями России.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Моисеева Н.О., ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский Государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова", Санкт-Петербург, Российская Федерация  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.80.11>

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

Moiseeva N.O., Saint-Petersburg State university of civil aviation named after Air Chief Marshal A.A. Novikov, Saint-Petersburg, Russian Federation  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.80.11>

### Список литературы / References

1. Technical White Paper – IntuVue® RDR-4000 3D Weather Radar Systems. — Phoenix, Arizona, 2016. — 19 p.
2. Marconnet D. Optimum use of weather radar / D. Marconnet, C. Norden, L. Vidal // Safety first. — Blagnac, 2016. — № 22. — 23 p.
3. Дмитрук В.В. Анализ возможностей бортового и наземного метеорологических радиолокаторов в задачах мониторинга воздушного пространства в условиях развития грозовой деятельности / В.В. Дмитрук, Г.В. Заболотников // Проблемы летной эксплуатации и безопасность полетов: межвузовский тематический сборник научных трудов. — 2023. — № 17. — 136 с.
4. Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике : [Введены в действие Приказом №52 от 14.02.2014 г.]. — Москва, 2014. — 90 с.

5. Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике, вторая редакция : [Введены в действие Приказом №52 от 14.02.2014 г.]. — Москва, 2017. — 95 с.
6. Авиационные факторы риска. ВМО. Программа обучения и подготовки. — Женева, 2007. — 53 с.
7. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология для летчиков / О. Г. Богаткин. — 2-е издание, переработанное и дополненное. — Санкт-Петербург: ООО ПолиКорм, 2014. — 252 с. — EDN OHNFFI.
8. Ильин Н.В. Оценка точности распознавания гроз по данным доплеровского метеорологического локатора ДМРЛ-С / Н. В. Ильин, Ф. А. Кутерин // Метеорология и гидрология. — 2020. — № 9. — С. 104–112. — EDN WJODJA.
9. Дивинский Л.И. К вопросу об обнаружении облачности и осадков по данным доплеровского метеорологического радиолокатора / Л. И. Дивинский, А. Д. Кузнецов, О. С. Сероухова [и др.] // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. — 2015. — № 39. — С. 87–98. — EDN UCMQNL.
10. Жуков В.Ю. Современные проблемы метеорологической радиолокации / В. Ю. Жуков, Г. Г. Щукин // Радиотехника и электроника. — 2016. — Т. 61, No. 10. — С. 927–939. — DOI: 10.7868/S0033849416100259. — EDN WLNHNX.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Technical White Paper – IntuVue® RDR-4000 3D Weather Radar Systems. — Phoenix, Arizona, 2016. — 19 p.
2. Marconnet D. Optimum use of weather radar / D. Marconnet, C. Norden, L. Vidal // Safety first. — Blagnac, 2016. — № 22. — 23 p.
3. Dmitruk V.V. Analiz vozmozhnostei bortovogo i nazemnogo meteoriticheskikh radarov v zadachakh monitoringa vozdušnogo prostranstva v usloviyakh razvitiya grozovoi deyatel'nosti [Analysis of the capabilities of airborne and ground meteorological radars in monitoring airspace in conditions of storm activity development] / V.V. Dmitruk, G.V. Zabolotnikov // Problemy letnoi ekspluatatsii i bezopasnosti polety: mezhvuzovskii tematicheskii sbornik nauchnykh trudov. [Problems of Flight Operation and Flight Safety: Interuniversity Thematic Collection of Scientific Papers]. — 2023. — № 17. — 136 p. [in Russian]
4. Vremennye metodicheskie ukazaniya po ispol'zovaniyu informatsii doplerovskogo meteoriticheskogo radara DMRL-C v sinopticheskoi praktike [Temporary Guidelines for Using Information from the Doppler Meteorological Radar DMRL-C in Synoptic Practice] : [Entered into Force by Order No. 52 dated 14.02.2014]. — Moscow, 2014. — 90 p. [in Russian]
5. Vremennye metodicheskie ukazaniya po ispol'zovaniyu informatsii doplerovskogo meteoriticheskogo radara DMRL-C v sinopticheskoi praktike, vtoraia redaktsiya [Temporary Guidelines for Using Information from the Doppler Meteorological Radar DMRL-C in Synoptic Practice, Second Edition] : [Entered into Force by Order No. 52 dated 14.02.2014]. — Moscow, 2017. — 95 p. [in Russian]
6. Aviazionnye faktory riska. VMO. Programa obucheniya i podgotovki [Aviation Risk Factors. WMO. Training and Preparation Program]. — Geneva, 2007. — 53 p. [in Russian]
7. Bogatkin O.G. Aviatcionnaya meteorologiya dlya letchikov [Aviation Meteorology for Pilots] / O.G. Bogatkin. — 2nd edition, revised and expanded. — Saint Petersburg: LLC PoliKorm, 2014. — 252 p. — EDN OHNFFI. [in Russian]
8. Ilyin N.V. Otsenka tochnosti raspoznavaniya groz po dannym doplerovskogo meteoriticheskogo lokatora DMRL-C [Assessment of the Accuracy of Thunderstorm Recognition Based on the Data from the Doppler Meteorological Radar DMRL-C] / N.V. Ilyin, F.A. Kuterin // Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology and Hydrology]. — 2020. — № 9. — P. 104–112. — EDN WJODJA. [in Russian]
9. Divinsky L.I. K voprosu ob obnaruzhenii oblachnosti i osadkov po dannym doplerovskogo meteoriticheskogo radara [On the Detection of Clouds and Precipitation Based on Data from the Doppler Meteorological Radar] / L.I. Divinsky, A.D. Kuznetsov, O.S. Seroukova [et al.] // Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta [Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University]. — 2015. — № 39. — P. 87–98. — EDN UCMQNL. [in Russian]
10. Zhukov V.Yu. Sovremennye problemy meteoriticheskoi radiolokatsii [Modern Problems of Meteorological Radar Technology] / V.Yu. Zhukov, G.G. Shchukin // Radiotekhnika i elektronika [Radio Engineering and Electronics]. — 2016. — Vol. 61, No. 10. — P. 927–939. — DOI: 10.7868/S0033849416100259. — EDN WLNHNX. [in Russian]