

УДК 629.7.073.7

DOI 10.51955/2312-1327_2024_1_57

СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОПАСНЫХ ПОРЫВОВ ВЕТРА В ЗОНЕ ВЗЛЁТНО-ПОСАДОЧНОЙ ПОЛОСЫ ПРИ ПОСАДКЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА

*Виталий Дмитриевич Рубцов,
orcid.org/0009-0007-4798-9150,
доктор технических наук, профессор
Почетный работник науки и техники РФ,
главный научный сотрудник
Государственный научно-исследовательский
институт гражданской авиации,
Михалковская ул., д. 67, корп. 1
Москва, 125438, Россия
vostburtiv@gmail.com*

*Елена Игоревна Трусова,
orcid.org/0009-0006-3990-261X,
аспирант
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия
elenatru2011@yandex.ru*

*Александра Леонидовна Рыбалкина,
orcid.org/0009-0009-4063-6525,
кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия
rybalkina@list.ru*

Аннотация. Предложен способ прогнозирования вероятности возникновения опасных порывов ветра в зоне взлетно-посадочной полосы (ВПП) за время посадки воздушного судна, основанный на использовании распределения абсолютных максимумов порывов ветра за время наблюдения. Данный способ даст возможность спроектировать систему посадки воздушных судов (ВС), позволяющую в зависимости от вероятности возникновения порывов ветра принимать различные управленческие решения: разрешение на посадку, отправку ВС на второй круг либо отправку на запасной аэродром.

Ключевые слова: порывы ветра, вероятностное описание, безопасность полётов, воздушное судно, теория выбросов случайных процессов, регистрирующее устройство на зондирующем луче.

METHOD FOR PREDICTING THE PROBABILITY OF DANGEROUS GUSTS OF WIND IN THE RUNWAY AREA WHEN LANDING AN AIRCRAFT

*Vitalii D. Rubtsov,
orcid.org/0009-0007-4798-9150,
Doctor of Technical Sciences, Professor
Honorary Worker of Science and Technology of the Russian Federation,
Chief Scientific Officer
The State Scientific Research Institute of Civil Aviation,
67, k. 1, Mihalkovskay
Moscow, 125438, Russia
vostburtiv@gmail.com*

*Elena I. Trusova,
orcid.org/0009-0006-3990-261X,
graduate student
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493, Russia
elenatru2011@yandex.ru*

*Alexandra L. Rybalkina,
orcid.org/0009-0009-4063-6525,
Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493 Russia
rybalkina@list.ru*

Abstract. The authors propose a method of predicting the probability of occurrence of dangerous gusts of wind in the runway area during landing of an aircraft, based on the use of the distribution of absolute maximum wind gusts during the observation period. The method makes it possible to design an aircraft landing system that allows, depending on the probability of wind gusts, to make various management decisions: permission to land, sending the aircraft on a go-around, or sending it to an alternate airfield.

Keywords: gusts of wind, probabilistic description, flight safety, aircraft, theory of emissions of random processes, recording device on a probing beam.

Введение

Этапы захода на посадку и посадки ВС являются наиболее важными с точки зрения безопасности полетов. Существующие средства метеообеспечения в аэродромной зоне позволяют определить скорость и направление ветра [Богаткин, 1986; Гузий, 2009; Мануйлов, 2021], высоту облачности, дальность видимости, температуру и влажность, в то время как порывы ветра, будучи непредсказуемыми [Афанасьева и др., 2017; Баранов и др., 1981; Воробьев и др., 1991], представляют наибольшую опасность возникновения предпосылок летных происшествий при посадке [Ахrameев и др., 2020].

Экспериментальные данные, полученные с использованием регистрирующего устройства, свидетельствуют об импульсном характере ветровых возмущений [Рубцов и др., 2015] (рисунок 1). В работе [Рубцов, 1978]

показано распределение абсолютных максимумов огибающей атмосферного шума, также имеющих импульсный характер, подобно ветровым возмущениям, что позволяет использовать математический аппарат для вероятностного описания порывов ветра.

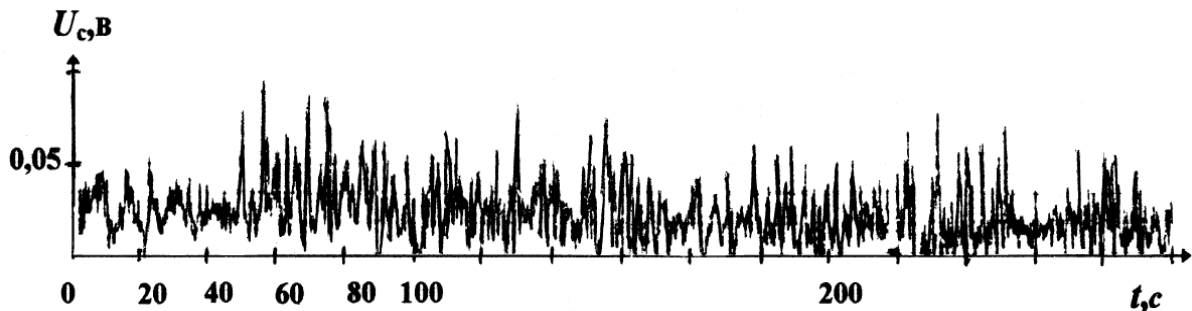


Рисунок 1 – Порывы ветра, зарегистрированные параметрическим регистрирующим устройством на ультразвуковом луче

Метод математического описания распределения абсолютных максимумов порывов ветра

Интегральная функция распределения абсолютных максимумов порывов ветра задается выражением:

$$F_1(h) = \exp\{-\exp[\alpha(h)]\}, \quad T \rightarrow \infty, \quad (1)$$

$$\text{где } \alpha(h) = [2 \ln \frac{\mu(T)}{\sigma}]^{1/2} \{ [2 \ln \frac{\mu(T)}{\sigma}]^{1/2} - \ln h / \sigma - \sigma \}. \quad (2)$$

Нормированное значение абсолютных максимумов порывов ветра определяется аналогично распределению абсолютных максимумов атмосферного шума за время наблюдения. Время наблюдения может быть принято как суммарное время захода на посадку и посадки ВС.

$$h = \max_{0 < t < T} [E(t) / B_E^{1/2}(0)] \approx \exp\left\{ \sigma \left\{ [2 \ln \frac{\mu(T)}{\sigma}]^{1/2} + [2 \ln \frac{\mu(T)}{\sigma}]^{-1/2} \xi - \sigma \right\} \right\}, \quad (3)$$

где:

$$\mu(T) = T[-R_E''(0)]^{1/2} / 2\pi \quad (4)$$

$$E(t) = A \exp[\xi(t)] - \text{текущее значение порыва ветра}; \quad (5)$$

$\xi(t)$ – нормальный стационарный дифференцируемый случайный процесс с математическим ожиданием и функцией корреляции, равными нулю;

σ – параметр, характеризующий степень «импульсности» порыва ветра, связанный с легкоопределяемым экспериментально параметром V_d , представляющим собой выраженную в децибелах разность среднеквадратического и среднего значения процесса [Левин, 1966].

$$V_d = 20 \lg [B_E^{1/2}(0) / m_{1E}]; \quad (6)$$

$R(\tau)$ – нормированная интегральная функция корреляции порывов ветра;

$$R_\tau = \frac{1}{\sigma^2} \ln [R_E(\tau)] + 1, \quad (7)$$

где $R_{E(\tau)} = B_E(\tau) / B_E(0)$ – коэффициент корреляции огибающей шума; (8)

$B(0)$ – дисперсия процесса;

$R(\tau)$ – нормированная к дисперсии процесса $B(0)$ корреляционная функция процесса;

$R''(\tau)$ – вторая производная по времени нормированная корреляционная функция;

$B_E(\tau)$ – функция корреляции порывов ветра.

На рисунке 2 приведено семейство кривых интегральной функции распределения абсолютных максимумов порывов ветра при различных значениях времени наблюдения T . Из кривых видно, что при увеличении времени наблюдения T , функция распределения имеет тенденцию к увеличению. Это связано с тем, что при увеличении периода наблюдения абсолютный максимум будет увеличиваться. При повышении степени импульсности функции распределения становятся шире, что связано с повышением вероятности резкого возрастания и снижения скорости ветра.

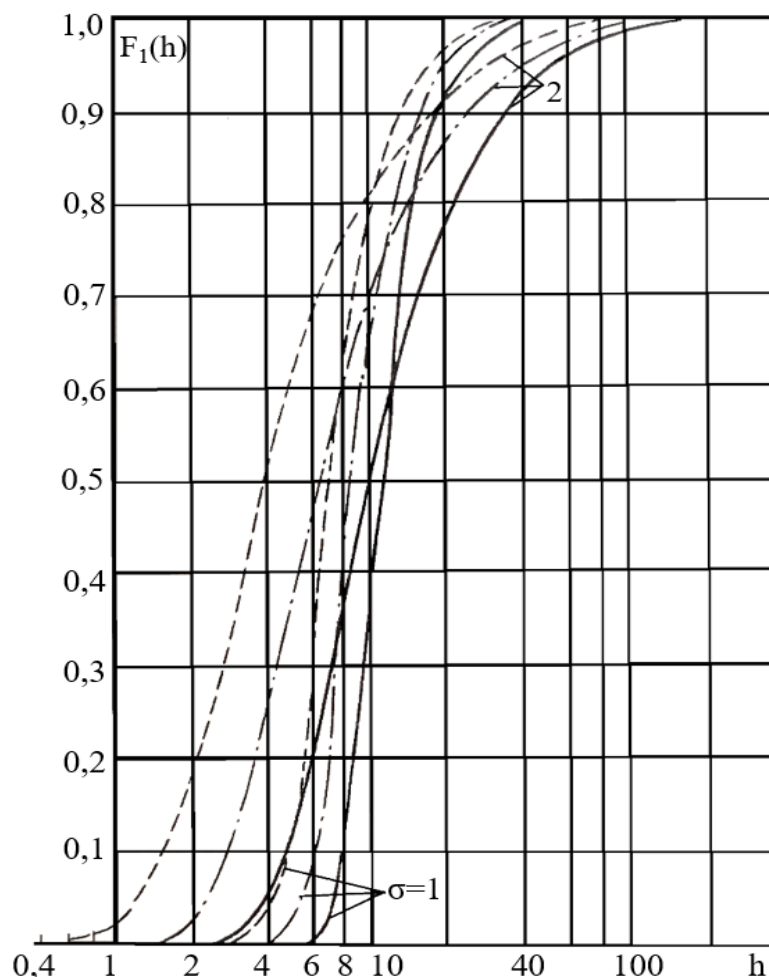


Рисунок 2 – Интегральная функция распределения абсолютных максимумов огибающей порывов ветра: сплошные кривые – $\mu(T)=200$; штрих-пунктир – $\mu(T)=100$; пунктир – $\mu(T)=50$

Дискуссия

Возмущения типа порывов ветра относятся к упругим волнам. Основу метода приема упругих волн при помощи зондирующих электромагнитных волн составляет накопление по длине зондирующего луча девиации фазы колебаний в нем, фазовая модуляция которых вызывается изменением скорости распространения колебаний в луче под действием избыточного давления, создаваемого упругой волной [Рубцов, 1997].

Принцип работы волновых антенн базируется на параметрическом взаимодействии узконаправленных зондирующих колебаний в среде и волн, принимаемых антенной. По длине луча происходит накопление этого взаимодействия. Регистрация производится методами микрофазометрии. Природа этих волн может различаться или быть одинаковой, а среда может быть твердой, жидкой или газообразной.

Зондирующий луч находится под некоторым углом относительно порыва ветра (рисунок 3). Отражатель предназначен для объединения точек излучения и приёма колебаний.

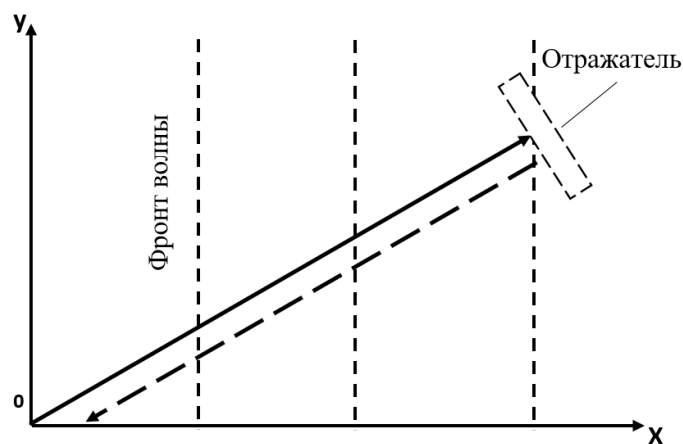


Рисунок 3 – Принцип действия волновой антенны

В работе [Рубцов и др., 2015] показано, что при использовании регистрирующего устройства с ультразвуковым зондирующим лучом, с использованием которого были получены приведенные выше данные (рис. 1), максимальная диаграмма направленности устройства находится в направлении луча, при использовании же электромагнитного зондирующего луча (оптического или СВЧ) максимум диаграммы направленности направлен по нормали.

На рис. 4 приведена структурная схема регистрирующего устройства с наиболее простым в реализации методом фазовых измерений [Рубцов и др., 2015]. Полезный эффект получается путем измерения разности фаз на входе и выходе узкополосного полосового фильтра ПФ. Использование узкополосного фильтра обусловлено тем, что ветровые возмущения имеют достаточно узкий спектр. При этом за счет крутой фазовой характеристики полосового фильтра происходят колебания фазы в луче, вызванные ветровым возмущением.

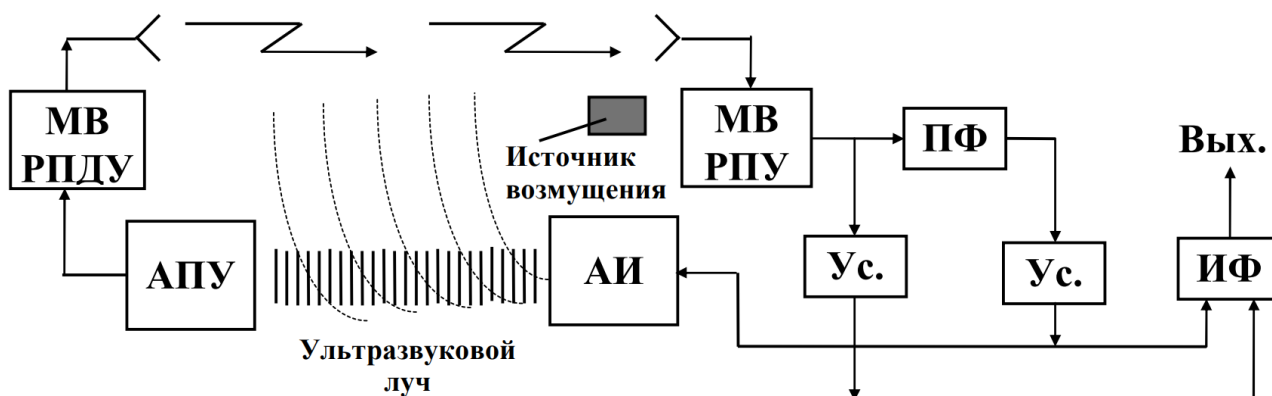


Рисунок 4 – Структурная схема параметрического регистрирующего устройства на ультразвуковом луче с относительными фазовыми измерениями и совмещением пунктов излучения и приема зондирующих колебаний, где:

МВВ РПДУ – метровые волны радиопередающего устройства;

МВ РПУ – метровые волны радиоприёмного устройства;

АИ – акустический излучатель; АПУ – акустическое приемное устройство;

ПФ – полосовой фильтр; Ус. – усилители; ИФ – измеритель фазы

Результаты

Для получения метеоинформации на аэродроме применяется комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция – КРАМС. КРАМС предназначена для измерения температуры и влажности воздуха, скорости и направления ветра, нижней границы облачности, метеорологической дальности видимости и т.д.

Принцип действия данной станции заключается в измерении метеорологических параметров при помощи первичных измерительных преобразователей.

Центральная система, входящая в состав КРАМС, состоит из комплекта технических средств, специального программного обеспечения и измерительных преобразователей метеовеличин (датчиков) [Институт радарной..., б.г.]. Данные от датчиков поступают каждые 15 секунд, обрабатываются, анализируются и передаются диспетчерам аэропорта.

Однако КРАМС не позволяет оперативно решить проблему передачи на борт информации о порывах ветра. Поэтому предлагается дополнить систему КРАМС параметрическим регистрирующим устройством на ультразвуковом луче (рисунок 5).

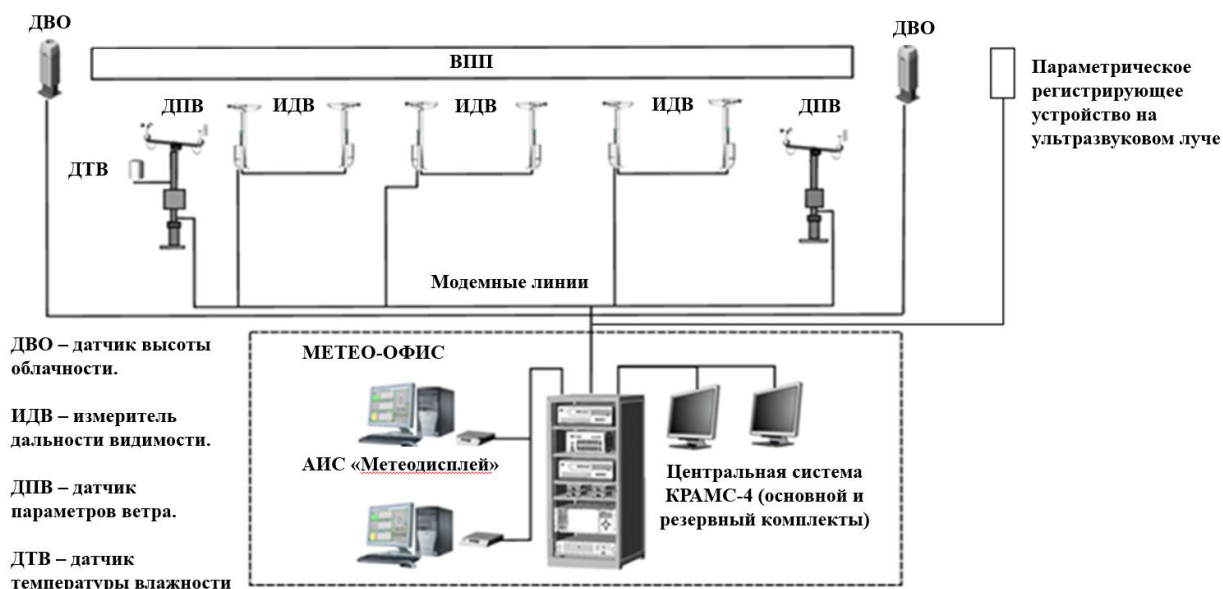


Рисунок 5 – Структурная схема станции КРАМС с базовым набором датчиков, дополненная параметрическим регистрирующим устройством на ультразвуковом луче. *Источник: составлено на основе «Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция «КРАМС-4» // [Электронный ресурс]. URL: http://iram.ru/iram/all_main.php?js=1&list_par=20-0*

Данные, которые были получены параметрическим регистрирующим устройством на ультразвуковом луче, поступают на вход центрального устройства и обрабатываются. Центральное устройство станции КРАМС, кроме обработки измерительных сигналов, проводит сравнение значений порывов ветра с допустимыми. Затем по этим данным формируется информация, которая в дальнейшем будет передана руководству и службам управления полётами для дальнейшей консультации лётных экипажей и передачи информации по линиям связи.

Проанализируем существующие системы передачи информации на борт ВС. Наиболее распространенными являются наземная станция контрактного автоматического зависимого наблюдения (АЗН), Controller-Pilot Data Link Communications (CPDLC) и Aircraft Communications, Addressing and Reporting System (ACARS).

АЗН применяется для передачи данных с ВС на землю, обмена данными между ВС, передачи на ВС информации о воздушной и метеообстановке и т. д. [Система АЗН-К..., б.г.].

ACARS осуществляет обмен информацией между ВС и наземной станцией, передает сообщения в закодированном виде, а к пользователю информации попадает уже в текстовом виде. [Как работает система..., 2014].

CPDLC или связь «диспетчер-пилот» используется для передачи информации по связи «воздух-земля» между службами УВД (диспетчерами) и экипажами ВС (пилотами) в целях безопасного обслуживания воздушного движения. CPDLC используют, чтобы передать текстовые сообщения, которые не требуют срочных действий. Оно может использоваться для получения

разрешений на борт ВС о продолжении бесступенчатого набора высоты от органа УВД, при этом канал радиосвязи останется свободным для передачи более приоритетных указаний, которые непосредственно влияют на безопасность полетов. [CPDLC..., 2019]. Поэтому информацию о порывах ветра целесообразно передавать через CPDLC.

Схема установки устройства приведена на рисунке 6. Регистрирующее устройство устанавливается в районе КРМ и подключается к общей системе метеобеспечения аэродрома. В автоматическом режиме зондирующий луч посылает сигналы в атмосферу и при наличии порывов ветра регистрирует сигнал. Информация о порывах ветра считывается и передается на сервер системы КРАМС, где через CPDLC передается на ВС на высоте 60 м на бортовой компьютер, который выдает голосовое сообщение.

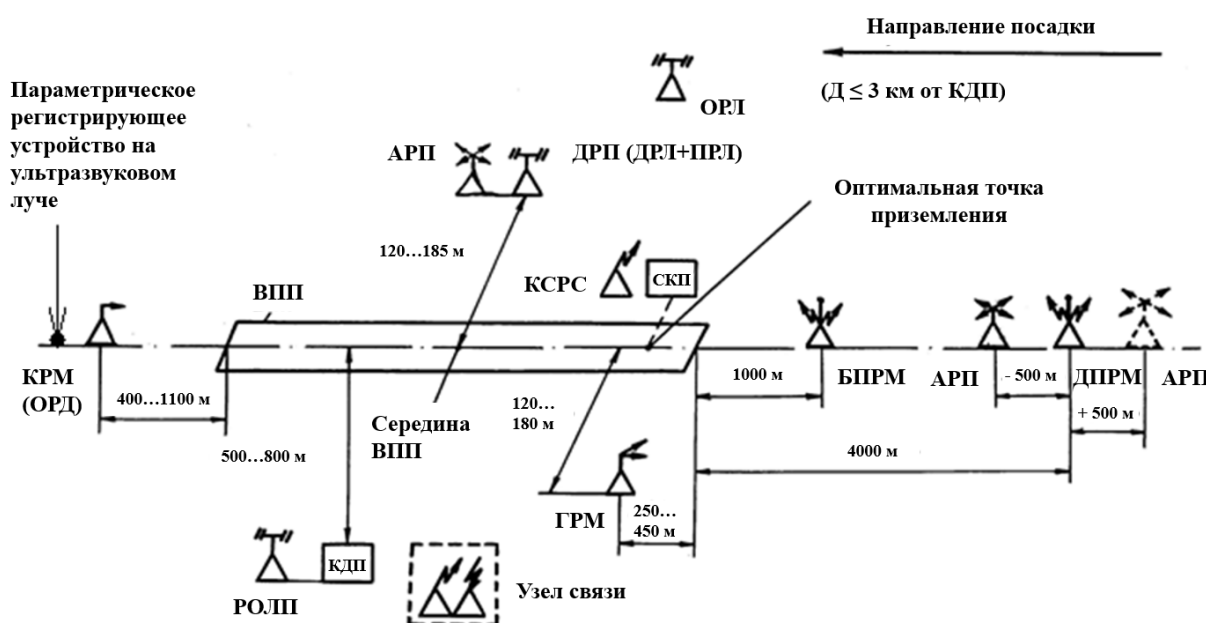


Рисунок 6 – Схема измерения величины порывов ветра на ВПП. *Источник: составлено на основе «Устройство аэродромов. Радиотехнические средства» // [Электронный ресурс]. URL: <https://oleg-knyzhov.ru/uroki/ustrojstvo-aerodromov-radiotekhnicheskie-sredstva>*

Голосовые сообщения будут кратко передавать основную информацию об уровне опасности порывов ветра, опираясь на светофорную модель (таблица 1).

Таблица 1 – Светофорная модель распределения уровня опасности порывов ветра

Наличие порывов	Скорость порыва ветра	Уровень
Нет	-	Приемлемый
Да	0-5 м/с	Допустимый
Да	более 5 м/с	Не допустимый

Таким образом, голосовые сообщения, поступающие на борт воздушного судна для принятия решения экипажами, могут быть следующими:

- «Порывы ветра в допустимых значениях»;
- «Опасные порывы ветра, необходим уход на второй круг».

В случае, если после ухода на второй круг порывы ветра сохраняются, необходимо уходить на запасной аэродром.

Заключение

Внедрение в метеослужбу аэродрома параметрического регистрирующего устройства на ультразвуковом луче позволит информировать экипаж воздушного судна о наличии порывов ветра в зоне взлета/посадки на ВПП, что позволит вовремя предпринять меры для минимизации рисков для безопасности полетов.

Библиографический список

- Афанасьева Ю. С.* Оценка метеорологических рисков в гражданской авиации / Ю. С. Афанасьева, О. Г. Богаткин // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2017. № 1(14). С. 5-13. EDN YJTXKT.
- Ахrameев В. И.* Сдвиг ветра – угроза безопасности полетов / В. И. Ахrameев, А. Г. Костылев, Д. В. Плаксин // Проблемы летной эксплуатации и безопасность полетов. 2020. № 14. С. 206-212. EDN FJMLLT.
- Баранов А. М.* Авиационная метеорология / А. М. Баранов, С. В. Солонин. СПб.: Гидрометеиздат, 1981. 304 с.
- Богаткин О. Г.* Графический способ прогноза болтанки самолетов // Труды ЛГМИ. 1986. № 34. С. 84-87.
- Воробьев В. И.* Синоптическая метеорология / В. И. Воробьев, А. П. Князев. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 581 с.
- Гузий А. Г.* Системный подход к управлению безопасностью полетов // Проблемы безопасности полетов. 2009. № 8. С. 9-15. EDN NCLUFN.
- Институт радарной метеорологии. КРАМС-4 // [Электронный ресурс]. URL: http://iram.ru/iram/all_main.php?js=1&list_par=20-0 (дата обращения: 02.09.2023).
- Как работает система ACARS // [Электронный ресурс]. 2014. – URL: <http://skynav.ru/likbez/acars/> (дата обращения: 03.09.2023).
- Левин Б. Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Советское радио, 1966. 728 с. EDN UYYXZD.
- Мануйлов С. А.* Обеспечение безопасности полетов при воздействиях неблагоприятных метеорологических условий на воздушное судно // Проблемы безопасности полетов. 2021. № 10. С. 21-44. DOI 10.36535/0235-5000-2021-10-4. EDN MZTKJI.
- Рубцов В. Д.* Прием волновых возмущений при помощи узконаправленных колебаний // Радиотехника и электроника. 1997. Т. 42, № 6. С. 645-648.
- Рубцов В. Д.* Распределение абсолютных максимумов огибающей атмосферного шума // Радиотехника и электроника. 1978. Т. XXIII, № 3. С. 621-623.
- Рубцов В. Д.* Экспериментальные исследования параметрических устройств регистрации на оптическом и ультразвуковом зондирующих лучах волновых возмущений в воздушной и водной средах / В. Д. Рубцов, С. А. Дубянский // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2015. № 213(3). С. 129-134. EDN TONSAF.
- Система АЗН-К. Назначение, принцип функционирования. Передаваемая информация и линии передачи. // [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/14539657/page:3/> (дата обращения: 03.09.2023).
- CPDLC – Навстречу новым возможностям // [Электронный ресурс]. 2019. – URL: <https://www.aviaport.ru/digest/2019/05/23/589135.html> (дата обращения: 03.09.2023).

References

- ADS system Purpose, principle of operation. Transmitted information and transmission lines. Available at: <https://studfile.net/preview/14539657/page:3/> (accessed 03 September 2023). (in Russian)
- Afanasieva Y. S., Bogatkin O. G. (2017). Assessment of meteorological risks in civil aviation. *Bulletin of the St. Petersburg State University of Civil Aviation*. 1(14): 5-13. (in Russian)
- Akhrameev V. I., Kostylev A. G., Plaksin D. V. (2020). Wind shear - a threat to flight safety. *Flight Operations and Flight Safety Issues*. 14: 206-212. (in Russian)
- Baranov A. M., Solonin C. V. (1981). Aviation meteorology. Saint Petersburg: *Gidrometeoizdat*, 1981. 304 p. (in Russian)
- Bogatkin O. G. (1986). Graphical method for forecasting aircraft chatter. *Proceedings of the LGMI*. 34: 84-87. (in Russian)
- CPDLC – Towards new opportunities. (2019). Available at: <https://www.aviaport.ru/digest/2019/05/23/589135.html/> (accessed 03 September 2023). (in Russian)
- Guziy A. G. (2009). A systematic approach to flight safety management. *Flight safety issues. Scientific and technical journal*. 8: 9-15. (in Russian)
- How does the ACARS system work? (2014). Available at: <http://skynav.ru/likbez/acars/> (accessed 03 September 2023). (in Russian)
- Institute of Radar Meteorology. KRAMS-4. Available at: http://iram.ru/iram/all_main.php?js=1&list_par=20-0. (accessed 02 September 2023). (in Russian)
- Levin B. R. (1966). Theoretical foundations of statistical Radio Engineering. Moscow: Soviet radio, 1966. 728 p. (in Russian).
- Manuilov S. A. (2021). Ensuring flight safety under the influence of unfavorable meteorological conditions on an aircraft. *Flight safety issues*. 10: 21-44. (in Russian)
- Rubtsov V. D. (1978). Distribution of absolute maxima of the atmospheric noise envelope. *Radio engineering and electronics*. XXIII(3): 621-623. (in Russian)
- Rubtsov V. D. (1997). Reception of wave disturbances using narrowly directed oscillations. *Radio engineering and electronics*. 42(6): 645-648. (in Russian)
- Rubtsov V. D., Dubyansky S. A. (2015). Experimental studies of parametric devices for recording wave disturbances in air and water media on optical and ultrasonic probing beams. *Scientific Bulletin of the MSTU CA*. 213(3): 129-134. (in Russian)
- Vorobyov V. I., Knyazev A. P. (1991). Synoptic meteorology. Leningrad: *Gidrometeoizdat*, 1991. 581 p. (in Russian)