

3. Pavlyuchenko, V. V. Imaging Electric Signals of a Magnetic Field Transducer with Hysteretic Interference for Testing Metals in Pulsed Magnetic Fields / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2020. – Vol. 56, № 11. – P. 907–914.
4. Pavlyuchenko, V.V. Testing for Defects in Pulsed Magnetic Field Transmitted Through Metal / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2021. – Vol. 57, № 10. – P. 856–864.
5. Pavlyuchenko, V.V. Differential Background of Electric Signal Read-from an Induction Magnetic Head / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2021. – Vol. 57, № 8. – P. 706–716.
6. Фалькевич, А. С. Магнитографический контроль сварных соединений / А. С. Фалькевич, М. Х. Хусанов. – М.: Машиностроение, 1966. – 176 с.
7. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии / В. С Козлов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.
8. Михайлов, С. П. Физические основы магнитографической дефектоскопии / С. П. Михайлов, В. Е. Щербинин. – М.: Наука, 1992. – 238 с.
9. Астахов, В. И. К вопросу о диагностике пластины с трещиной вихретоковым методом / В. И. Астахов, Э. М. Данилина, Ю. К. Ершов // Дефектоскопия. – 2018. – № 3. – С. 39–49.
10. Pavlyuchenko, V. V. Hysteretic Interference Algorithms / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2023. – Vol. 59, № 5. – P. 537–546.
11. Pavlyuchenko, V. V. Pulsed Magnetic Field near Metal Surface/ V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2022. – Vol. 58, № 11. – P. 983–991.
12. Суханов, Д. Я. Магнитоиндукционный интроскоп для дефектоскопии металлических объектов / Д. Я. Суханов, Е. С. Совпель // Дефектоскопия. – 2015. – № 5. – С. 56–62.

УДК 551.461

### **Стандарты на атмосферу на современном этапе развития авиации**

Кириленко А. И., Листопад А. И.  
Белорусская государственная академия авиации  
Минск, Республика Беларусь

*В работе проводится анализ ситуации в приземном слое атмосферы в современных реалиях с целью внесения изменений в будущие стандарты атмосферы. Подчеркивается расширяющееся многообразие потребности*

*лей такого ресурса как приземная атмосфера и противоречивость требований даже одного потребителя. Рассматриваются вопросы перспектив использования приземной атмосферы в интересах транспортной отрасли. Подчеркивается недостаточная изученность атмосферных процессов в приземном слое. Отмечается возрастание количества атмосферных аномалий на фоне возрастающего авиационного парка.*

Нижний слой атмосферы чрезвычайно важен для жизнедеятельности человека. Благодаря ему растут культурные растения, которые употребляются в пищу и в технологических процессах, а также протекают основные процессы, такие как фотосинтез, выравнивание температур благодаря нормальному парниковому эффекту, тепло- и влагообмен, и даже изменчивости солнечной радиации мы обязаны приземной атмосфере. Урбанизация, высотная застройка мегаполисов, огромные потоки сбросного тепла, промышленные и транспортные выбросы существенно меняют приземную атмосферу на больших площадях. Экологические проблемы вынуждают человечество строить огромные ветроэнергетические установки, перераспределяющие воздушные потоки. Речь идет о том, чтобы поднять ветрогенераторы на высоту, где скорости ветров выше и стабильнее. Туда же, на высоту, стремятся и солнечные батареи. В приземном слое становится тесно. Особое беспокойство вызывает развитие беспилотников (БЛА).

Благодаря развитию технологий беспилотная авиация в последние годы расширила спектр своего применения. Так беспилотные летательные аппараты (БЛА) используются не только для проведения аэрофотосъемки, мониторинга лесных пожаров, дорожного движения, контроля утечек газов из трубопроводов и пр. БЛА становятся транспортным средством и используются для доставки грузов и перевозки людей. Альтернативы БЛА нет.

Расширяется сфера применения БЛА в военном деле. Разведка, ведение наблюдения за подвижными объектами, бомбометание, перевозка боевых снарядов. Основным преимуществом БЛА при ведении военных действий является отсутствие пилота на борту, тем самым исчезает вероятность гибели человека, при выполнении специальных заданий. Также несомненным достоинством БЛА являются его небольшие размеры, меньшая стоимость в сравнении с пилотируемой авиацией и высокая маневренность, которая обеспечивает полет по заданному маршруту. Благодаря вышеперечисленным функциям БЛА занимают важное место в военной отрасли благодаря меньшей радиолокационной и оптической заметности.

Несмотря на такие громадные преимущества, БЛА остаются уязвимыми со стороны погоды, впрочем, как и вся авиация. Состояние атмосферы,

прогноз погоды – основа применения БЛА, ветрогенераторов, солнечных батарей, воздушных шаров и проч. Для создания этой техники необходимо иметь стандарты на атмосферу. Целью работы является изложение основных требований, которые должны лежать в основе будущих стандартов.

Стандарты на атмосферу устанавливаются Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) и используются государствами, входящими в нее. Нормальные условия для авиации: температура 15°C, давление 1013,25 гПа (760 мм рт. ст.). Однако данные стандарты не являются оптимальными для БЛА, малой авиации, энергетиков и тем более в будущем для дирижаблей.

Стандарты должны обеспечить эксплуатацию ресурса (атмосферы) безопасным, эффективным, экономическим и экологическим образом для человека, техники и окружающей среды. Поскольку потребителей этого ресурса достаточно много, то установление общих принципов, характеристик, требований и методов, необходимых для упорядочения и оптимизации их деятельности, является далеко не простой задачей.

Стандарты на атмосферу прежде всего нужны для разработки техники. Однако атмосфера как среда крайне изменчива, стационарна, существование в ней ветра и воздушные течения делают ее анизотропной. Кроме того, ее вертикальная структура слоиста, то есть она неоднородна по вертикали, и даже по горизонтали.

Современные БЛА зачастую имеют несколько режимов полета. Одним из наиболее распространенных является Altitude Hold Mode (удержание высоты), которая позволяет БЛА с помощью специальных датчиков «зависнуть» в небе. При порывистом ветре данная функция автоматически выравнивает судно, тем самым позволяя оставаться ему в заданной точке. Однако большинство легких БЛА предназначенных для фотосъемки местности и производства разведки оснащены барометрическими датчиками. Принцип их работы достаточно примитивный: с увеличением высоты, атмосферное давление падает, а, следовательно, полетный контроллер реагирует соответствующим образом и подает нужные сигналы на двигатели, регулируя тягу. Но большим недостатком является то, что такие датчики не во всех случаях работают корректно, так как на небольшой высоте разница давления ими не ощутима, а потому барометр может давать сбой. В свою очередь из-за отличных систем барического давления могут возникнуть проблемы интеграции БЛА в пилотируемое воздушное пространство.

В настоящее время в авиационной отрасли существует острая проблема выбора системы барического давления. Так авиалайнеры зарубежного производства используют два давления: QNH – давление, приведенное к уровню моря, и QNE – стандартное атмосферное давление. В свою очередь, большинство наших воздушных судов (ВС) используют вместо QNE,

используют QFE – давление, приведенное к порогу взлетно-посадочной полосы. В России (и еще в ряде стран СНГ) используют QFE для посадки, в этом случае баровысотомер покажет ноль. Почти весь остальной мир заходит на посадку по QNH, при посадке по QNH баровысотомер покажет превышение над уровнем моря. Также данное давление QFE используется военными. На высоте ниже нижнего безопасного эшелона (для Беларуси эшелон 50) для ВС на высотомере принято устанавливать давление QNH.

Для малой авиации, которая осуществляет полеты на небольших высотах, особые неудобства представляет то, что давление в Automatic terminal information service (ATIS) указывается в QNH. Поэтому, если экипажу необходимо давление QFE, то его может выдать авиадиспетчер по запросу, в случае наличия таких данных или воспользоваться правилом: от полученного от органа ОВД или ATIS значения QNH необходимо отнять эквивалент барометрической высоты ВПП (Rwy Elev), который можно найти на Approach Chart фирмы Jeppesen в разделе Communication. Получив значение QFE в миллибарах (или других единицах), нужно перевести его в миллиметры по таблице Tables & Codes сборника Jeppesen. Разница между различными видами давлений негативно сказывается на безопасности полетов и использовании воздушного пространства.

Для полетов беспилотной авиации обычно применяется стандартное давление, которое составляет около 1013,25 Па или одна атмосфера на уровне моря. Однако, при различных высотах полета давление может меняться. На больших высотах, где атмосферное давление ниже, БЛА могут использовать специальные системы для поддержания оптимального давления внутри своих корпусов и компонентов. На данный момент БПЛА могут подниматься на внушительные высоты. Одним из примеров является современный турецкий Bayraktar TB2, который провел в воздухе 24 часа и 34 минуты на высоте 8 километров. Также еще один из израильский беспилотников Heron-1 способен подниматься на высоту 10700 м. Это позволяет им функционировать эффективно и безопасно в различных условиях полета.

В более дорогих моделях БЛА имеют в своем оснащении спутниковые приемники, которые берут данные со спутниковых навигационных систем. Такой способ, безусловно, является одним из самых точных, но важно отметить, что системы: GPS, ГЛОНАСС, BeiDou – принадлежат военным ведомствам государств и тем самым весьма ненадежны для использования. Также стоит учитывать, что на спутниковые сигналы оказывают влияние множество факторов: затенения, мощность приемников, несовершенство аппаратуры спутниковых систем, несоответствие эфемерид, условия распространения сигналов в ионосфере.

На данном этапе развития беспилотной авиации запрещено совершать полеты в районе аэродрома, однако, если мы будем затрагивать вопрос интеграции беспилотной авиации в пилотируемое воздушное пространство, то перед нами возникает проблема, связанная с несовершенством БЛА. Так, например, для пилотируемых ВС при посадке на аэродроме существуют категории минимумов ИКАО для точных заходов на посадку. На БЛА же при осуществлении посадки влияют погодные факторы, которые не столь значительны для самолетов. Во многих аэропортах часто наблюдаются туманы и частая облачность на небольших высотах, которые БЛА может воспринять как препятствие и автоматически перейти в режим набора высоты или, приняв туман за землю, пытались совершить посадку с выключением двигателей. Также сам по себе туман негативно влияет на электронику аппарата. Поэтому необходимо учитывать особенности месторасположения каждого аэродрома для дальнейшей возможности использования его совместно с пилотируемой авиацией.

На беспилотную авиацию оказывают значительное влияние атмосферные явления: дождь, град, порывы ветра, температура воздуха, обледенение. Так, например, известны случаи попадания дождевой воды в вентиляционные отверстия БЛА, которые приводили к ухудшению или вовсе выходу из строя приемника сигналов. Такие ситуации весьма опасны не только для пилотируемой авиации, но и для людей, находящихся на земле, поскольку БЛА становится неуправляемым. Если влага попадет на электроцит, то высока вероятность короткого замыкания и, как следствие, возгорание судна [1].

Компании, производящие БЛА коммерческого класса, указывают в документации рейтинг сопротивления погоде [2]. Однако данные показатели значительно разнятся. Международная электротехническая комиссия утвердила рейтинговую систему защиты от твердых тел и жидкостей. Диапазон от 0 до 6 – для твердых веществ и от 0 до 9 – для влажности, степень защиты повышается с увеличением числа. Также благодаря усовершенствованию конструкции судов, растет их стойкость к турбулентности и скорости ветра, однако максимальные показатели работы при сильном ветре находятся около 15 м/с. При таких эксплуатационных условиях значительно возрастает энергопотребление и нагрузка на конструкцию БЛА [3].

Рабочий температурный диапазон БЛА находится от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Наиболее подходящей температурой для эксплуатации БЛА является  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура ниже  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  увеличивает внутреннее сопротивление батареи, что приводит к снижению ее разрядной емкости и увеличению падения напряжения во время разряда. При полете, если напряжение батареи значительно снизится, БВС не сможет поддерживать высокую скорость полета при максимальной тяге.

В пограничном слое атмосферы также очень часто наблюдается смена ветра с высотой, которая связана с уменьшением силы трения при удалении от подстилающей поверхности. Наибольшее отклонение ветра влево от изобары отмечается на высоте до 50 м. Приземный слой атмосферы, в котором в большинстве случаев эксплуатируются БЛА, простирается до 900 м и отличается большой загрязненностью в области аэродромов, в промышленных районах, в зонах работы вспомогательных силовых установок, на сильного загруженных маршрутах ОВД.

Поэтому еще одним важным показателем атмосферы является барическая ступень, которая в среднем равна 11 м/мм рт. ст. в приземном слое, а значения барической ступени 8 м/мм используются в авиации при расчетах безопасной высоты полета в равнинной и холмистой местности. Однако необходимо учитывать и изменение барической ступени с учетом температуры, значения которой приведены в табл.

Таблица

Зависимость барической ступени от температуры

Давление, гПа	Температура, °С				
	-40	-20	0	20	40
1000	6,7	7,4	8	8,6	9,3
500	13,4	14,7	16	17,3	18,6
100	67,2	73,6	80	86,4	92,8

При сравнении барической ступени в одной и той же изобарической поверхности, но в разных воздушных массах, можно наблюдать ее увеличение с ростом температуры. Так как для оптимального полета БЛА температура должна быть 20°С–25 °С, то барическая ступень в этом случае будет составлять около 11,47 м/мм рт. ст. – 11,73 м/мм рт. ст., что для БЛА будет весьма существенно.

Еще одним перспективным направлением развития авиации является возвращение к использованию дирижаблей [4]. Сейчас дирижабли можно считать одним из самых безопасных видов транспорта, так как при утечке газа он не упадет на землю, а медленно опустится. В новых дирижаблях вместо взрывоопасного водорода уже достаточно давно используется гелий. Известны также воздушные шары, работающие на перегретом водяном паре. Главными преимуществами таких воздушных судов является их грузоподъемность. Поскольку сила воздействия ветра пропорциональна площади поверхности, а силы инерции – объему, то появление дирижаблей с грузоподъемностью железнодорожного состава дело времени. Возможно, через такие дирижабли в воздухоплавании приживется и атомный двигатель.

Так как современные дирижабли обладают внушительными размерами и относительно небольшими скоростями движения, то они в значительной степени подвержены воздействию атмосферных неоднородностей, к числу которых относятся области с высокой турбулентностью, порывы ветра, струйные течения. При этом аэродинамические характеристики дирижаблей при полетах в таких областях заметно ухудшаются и, как следствие, может случиться потеря управления.

Обледенение корпуса и налипание на него мокрого снега потенциально опасны тем, что происходит утяжеление аппарата и нарушение формы его корпуса. Они не покрывают равномерно весь корпус, а локализируются местами, особенно носовой части дирижабля. При этом центр тяжести – дирижабля смещается, а это ухудшает управляемость дирижабля и в некоторых случаях может привести к ее потере. Подъемная сила летательного аппарата находится в прямой зависимости от температуры воздуха. При повышении температуры и уменьшении атмосферного давления часть подъемной силы дирижабля теряется. В наибольшей степени аэродинамические характеристики дирижабля зависят от его движения. В спокойной атмосфере набегающий поток равномерный, в беспокойной атмосфере происходит изменение скорости движения воздушных масс, наблюдаются сдвиги ветра и другие опасные явления. Поэтому аэродинамические характеристики дирижабля могут сильно отличаться от тех, которые наблюдаются для случая обтекания дирижабля безграничным равномерным потоком. Как видим, появление новой техники приводит к необходимости более точного прогноза состояния атмосферы и учета ее параметров при разработке этой техники, то есть новых атмосферных стандартов.

С развитием авиационной и космической техники список параметров атмосферы, подлежащих нормированию и стандартизации, расширяется. Проанализировав сведения об эксплуатационных характеристиках БЛА можно сделать вывод, что стандартная атмосфера ISA, которая была утверждена в 1975 году, когда беспилотная авиация не существовала, не является подходящей для беспилотных судов, тем самым для них необходимо разработать определённые нормы и требования. БЛА совершенно не защищены от внезапных мощных порывов ветра, осадков, вихреобразования, обледенения. Прогнозировать такие атмосферные события весьма затруднительно. Общие атмосферные стандарты никак их не учитывают.

Будущие стандарты должны быть более детально районированы (например, для северо-восточных и юго-западных регионов Республики Беларусь), более четко разделены по сезонам, поскольку четырех сезонов явно недостаточно. Стандарты с неизбежностью должны включать про-

гностическую составляющую, например, в отношении частоты аномальных атмосферных явлений.

При учете этих требований можно создать технику для решения региональных задач. Бессмысленно мониторить реки, дороги, если оборудование БЛА не приспособлено к работе в тумане или при наличии мелких осадков. Учитывая быструю изменчивость климата целых регионов стандарты должны быть построены на определенное время действия.

### Литература

1. Абрамович, А. А. Прогнозирование воздушных потоков: руководство по прогнозированию метеорологических условий / А. А. Абрамович. – Ленинград: Лен. типография, 1985. – С. 49–50.
2. Баранов, А. М. Авиационная метеорология и метеорологическое обеспечение полетов / А. М. Баранов, Г. П. Лещенко, Л. Ю. Белоусова. – Москва: Транспорт, 1993. – 567 с.
3. Карлин, Л. Н. Влияние ветра на боевое применение авиации / Л. Н. Карлин, В. И. Акселевич // Авиационная метеорология. – 2006. № 3. – С. 5–10.
4. Кирилин, А. Перспективы развития дирижаблестроения / А. Кирилин // Воздухоплаватель. – 1999. – №3 (17). – С. 32–37.

УДК 662.769.21

### Источники водорода для водородной энергетики

Кириленко А. И., Бурдин И. Л.  
Белорусская государственная академия авиации  
Минск, Республика Беларусь

*В работе рассмотрены основные и перспективные направления получения водорода. Рассматривается общая классификация этих направлений по степени воздействия на окружающую среду. Отмечаются современные тенденции по удешевлению производства. Среди них - совмещение функций технологий, когда наряду с водородом получают ценные побочные продукты, попытки попутного решения других экологических проблем и разработка процессов прямого превращения энергии солнечных квантов в химический продукт. Подчеркивается доступность сырьевой базы.*

С течением времени экологические проблемы, стоящие перед человечеством, только обостряются. На данном этапе первопричина видится в