

ными вибрационными частотами. Однако из-за оптимального выбора параметров и конструкции сиденья в [10] наблюдаются установившиеся вынужденные колебания.

Список литературы

- 1 Kravchenko, V. On the assessment of vibroloading of vehicle drivers in agricultural production / V. Kravchenko, L. Kravchenko, V. Oberemok // State and prospects for the development of agribusiness – INTERAGROMASH 2020 : XIII International scientific and practical conference ». – 2020. – Vol. 175. – P. 1–10.
- 2 Cvetanovic, B. Evaluation of whole-body vibration risk in agricultural tractor drivers / B. Cvetanovic, D. Zlatkovic // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2013. – Vol. 19 (5). – P. 1155–1160.
- 3 Линник, Д. А. Оценка эффективности существующей системы виброзащиты рабочего места водителя колесного трактора при выполнении полевых работ / Д. А. Линник // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 2. – С. 161–166.
- 4 Investigation of the vibrations transmitted by agricultural tractor to the driver under operative conditions / L. Fornaciari [et al.] // Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems : International Conf., Ragusa, 15–17 Sept. 2008. – Italy, 2008. – P. 1–8.
- 5 Whole body vibration exposure among the tractor operator during soil tillage operation : an evaluation using ISO 2631-5 standard / A. Singh [et al.] // Shock and Vibration. – 2022. – P. 1–8.
- 6 Cutini, M. Whole-body vibration in farming : background document for creating a simplified procedure to determine agricultural tractor vibration comfort / M. Cutini, M. Brambilla, C. Bisaglia // Agriculture. – 2017. – Vol. 7, is. 84. – P. 20.
- 7 Линник, Д. А. Математическая модель и программа моделирования колебаний масс колесного трактора с подвеской кабины / Д. А. Линник, В. И. Булгаков // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 2. – С. 122–127.
- 8 Линник, Д. А. Математическая модель опытного демпфера подвески кабины колесного трактора / Д. А. Линник, В. М. Пещевич, А. Ч. Свистун // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 2. – С. 139–143.
- 9 Мусафиров, Э. В. Математическая модель колебаний сиденья водителя колесного трактора / Э. В. Мусафиров, Д. А. Линник, А. Ч. Свистун // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 64–75.
- 10 Линник, Д. А. К вопросу оценки вертикальных колебаний сиденья водителя при движении колесного трактора по неровностям опорной поверхности / Д. А. Линник, А. Ч. Свистун // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 3. – С. 112–119.

УДК 551.461

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

А. И. ЛИСТОПАД, А. И. КИРИЛЕНКО

Белорусская государственная академия авиации, г. Минск

Тенденция развития беспилотных летательных аппаратов (БЛА) направлена на всепогодность. Основной особенностью БЛА является их использование преимущественно в приземном слое атмосферы, где идут конвективные восходящие потоки. Этот слой наиболее подвержен влиянию процессов, происходящих на земной поверхности. В этом слое можно наблюдать существенное изменение метеозакономерностей с высотой, но самое главное – они могут изменяться во времени. Например, вертикальный градиент скорости ветра, температура и влажность способны в несколько раз превышать свои показатели по отношению к вышележащим слоям. В силу небольших габаритов и относительно небольшого веса большинство моделей БЛА весьма чувствительны к изменениям скорости ветра и его порывам. В приземном слое атмосферы скорость ветра с высотой возрастает, однако наблюдается отсутствие изменения его направления [1]. Также на высоте от земли до 5 км содержится большая часть водяного пара атмосферы (порядка 90 %), именно поэтому в приземном слое происходят процессы, связанные с образованием облаков и осадков (дождя, снега, града). Физика этих явлений не изучена. Поэтому изучение влияния метеофакторов на полеты в приземном слое атмосферы весьма актуально. Одной из особенностей приземного слоя атмосферы является переменчивость вектора скорости воздушных масс. В условиях турбулентности вектор скорости частиц воздуха меняется хаотично в пространстве и во времени. Именно от параметров турбулентности зависят такие характеристики состояния воздушных масс, как температура, давление, влажность, плотность.

Цель работы – проанализировать климатические факторы, определяющие пределы использования БЛА в различных погодных условиях.

Оптимальным условием для производства полетов считается температура воздуха 25 °С. При таком показателе аккумулятор БЛА сохраняет максимальную производительность. Использование БЛА при низких температурах снижает срок службы источников питания. Наличие осадков, высокая влажность воздуха, обледенение отрицательно сказываются на работе электронных элементов беспилотника и могут привести к аварийным ситуациям, таким как потеря управления и возгорание, короткое замыкание, запотевание оптических элементов, что, в свою очередь, может привести к потере визуальной ориентировки для эксплуатанта.

При планировании полетов БЛА применяется стандартное давление, которое принято Международной организацией гражданской авиации и равняется 1013,25 Па, или 1 атмосфере на уровне моря [2]. На большинстве коммерческих беспилотников также установлены средства GPS-навигации. Однако подавляющее количество недорогих БЛА, используемых в сельском и лесном хозяйствах, транспортных организациях оснащены достаточно примитивными барометрическими высотомерами, в которых применяется давление QFE – давление уровня аэродрома. В таком случае для пользователя БЛА чрезвычайно важно знать некоторые особенности изменения атмосферного давления в нижних слоях атмосферы. В свою очередь один из важнейших показателей – барическая ступень – также тесно связан с температурой окружающей среды. При оптимальной температуре воздуха для БЛА барическая ступень будет равняться 11,73 м/мм рт. ст. вместо стандартных 11 м/мм рт. ст., которые приняты в гражданской авиации.

В приземном слое атмосферы довольно часто встречается смена ветра с высотой, происходящая по причине уменьшения силы трения при удалении от земной или водной поверхности. Максимальное отклонение ветра влево от изобары можно заметить на высоте до 50 метров, именно на таких высотах эксплуатируется большинство беспилотных аппаратов. Также в этом диапазоне высот используются различные ветровые установки, располагается высотная застройка, трубы предприятий, мачты и башни, которые создают дополнительные неудобства для использования БЛА и служат причиной возникновения дополнительного возмущения потоков воздушных масс.

Различные свойства подстилающей поверхности приводят к ее неравномерному нагреву, что влечет за собой возникновение турбулентных потоков разной интенсивности. В приземном слое могут образовываться вихри различных размеров, динамика развития и движения которых слабо изучена.

Смена однородного потока на турбулентный возникает при потере гидродинамической устойчивости потока, когда отношение сил инерции к силам вязкости превосходит некоторое критическое значение числа Рейнольдса, которое определяется по формуле

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu},$$

где ρ – плотность воздуха; v – средняя скорость потока; μ – динамическая вязкость; d – размер потока жидкости. Иногда пользуются кинематической вязкостью, которая определяется по соотношению

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}; \quad Re = \frac{1}{\nu} v d.$$

В то же время вязкость зависит от температуры, поскольку с ее изменением происходит изменение плотности воздуха. Из таблицы 1 видно, что с повышением температуры и плотности кинематическая вязкость уменьшается. Соответственно при повышении температуры число Рейнольдса будет уменьшаться. Как видим, это уменьшение весьма существенно.

Таблица 1 – Зависимость критического числа Рейнольдса от температуры

Температура, °С	ρ , кг/м ³	μ , Н·с/м ² ·10 ⁻⁵	ν , м ² /с·10 ⁻⁵	$Re_{кр} / \nu d$
-20	1,395	1,63	1,17	0,8547
0	1,293	1,71	1,32	0,7576
5	1,269	1,73	1,36	0,7353
10	1,247	1,76	1,41	0,7092
15	1,225	1,80	1,47	0,6803
20	1,204	1,82	1,51	0,6622
25	1,184	1,85	1,56	0,6410
30	1,165	1,86	1,60	0,6250

Ламинарное течение (обтекание) переходит в турбулентное, когда Re становится больше некоторого критического значения числа Рейнольдса. Если задать конкретные значения ν и d , то уве-

личение скорости потока приведет к возникновению турбулентности, следовательно, в атмосфере появятся вихри, которые считаются главными врагами беспилотной авиации.

Также в приземном слое атмосферы существует понятие пограничного слоя, в котором наиболее выражено изменение скорости ветра. В этом слое подстилающая поверхность затормаживает массы воздуха. Обычно увеличение скорости ветра наблюдается в пределах пограничного слоя. Его толщина варьируется в зависимости от профиля местности, подстилающей поверхности, температуры воздуха и силы ветра. По техническим требованиям большинства БЛА их использование не рекомендуется при скорости ветра выше 15 м/с [3].

Увеличение скорости ветра часто возникает в местах перепадов высот при наличии плотной застройки, лесопосадки, гористой местности, искусственных препятствий. Из этого можно сделать вывод, что наиболее подходящими для запуска БЛА являются открытые площадки без ветрозащитных полос. На открытых пространствах перемещение воздуха преимущественно равномерно по скорости и направлению.

Итак, поскольку метеорологическая обстановка существенно зависит от свойств подстилающей поверхности, то именно эта поверхность оказывает определяющее влияние на формирование турбулентных восходящих потоков и в конечном счете на производство полетов БЛА.

Список литературы

- 1 Баранов, А. М. Авиационная метеорология и метеорологическое обеспечение полетов / А. М. Баранов, Г. П. Лешенко, Л. Ю. Белоусова. – М. : Транспорт, 1993. – 567 с.
- 2 Руководство по стандартной атмосфере ИКАО (с верхней границей, поднятой до 80 километров (262 500 футов)). Doc 7488/3. – 3-е изд. – Междунар. организация гражданской авиации, 1993. – 305 с.
- 3 Карлин, Л. Н. Влияние ветра на боевое применение авиации / Л. Н. Карлин, В. И. Акселевич // Авиационная метеорология. – 2006. – С. 5–10.

УДК 620.174.2

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБРИДНЫХ ТИТАН-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

С. С. ЛОПАТИН, А. В. БАБАЙЦЕВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Сплавы титана обладают малым удельным весом и высокой механической прочностью (особенно при повышенных температурах), что делает их ценными авиационными материалами. В области самолетостроения и производства авиационных двигателей титан всё больше вытесняет алюминий и нержавеющую сталь. В настоящее время разработчики авиационной техники перестраивают всю материаловедческую концепцию строительства самолетов, активно привлекая и используя различные виды композиционных материалов на основе титановых сплавов. В сочетании со свойствами титана композиционные материалы FML на его основе обладают большей ударостойкостью, жёсткостью, термостойкостью, коррозионной стойкостью особенно по сравнению с аналогичными материалами на основе алюминия.

В работе исследуются динамические характеристики гибридных титан-полимерных композиционных материалов (ТПКМ) на основе титанового сплава BT-23 и стеклопластика с кратким приведением основных характеристик препрегов и схемы укладки. Описаны процесс изготовления образцов для испытаний, включая термообработку, схема укладки слоёв и схема армирования в двух вариантах. Представлены результаты экспериментальных исследований собственных частот и коэффициента демпфирования по методу свободных затухающих колебаний при свободных колебаниях пластин ТПКМ. При этом учитывается возможность расслоения, что накладывает ограничение по амплитуде. Испытания проводятся в варианте вертикального нагружения на специально сконструированной установке с триангуляционным датчиком. Испытываются два одинаковых вида образца с разными габаритными размерами по 5 тестов на 3 образца. Физические константы образцов предварительно определены в статических испытаниях. Установлена зависимость изменения коэффициента демпфирования от амплитуды для образцов и найдены собственные частоты, коэффициенты демпфирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного проекта Министерства образования и науки РФ «Код проекта FSFF-2023-0007».