



УДК 62-768
doi:10.21685/2587-7704-2022-7-1-1



Open
Access

RESEARCH
ARTICLE

Ультразвуковая противообледенительная система лопастей винтов вертолета

Антон Сергеевич Ишков

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
ishkovanton@mail.ru

Антон Алексеевич Антонов

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
tonchic2001@mail.ru

Александр Александрович Сарайкин

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
fortyna579@gmail.com

Дмитрий Викторович Земляков

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
zemliakov.mitya2016@yandex.ru

Аннотация. Приведен обзор применяемых на сегодняшний день методов и технических средств для борьбы с обледенением лопастей несущего и рулевого винтов вертолета. Представлено описание принципа работы таких систем, их особенности, области применения, а также выполнен анализ их достоинств и недостатков. Авторами предложена противообледенительная система на основе использования ультразвуковых колебаний пьезоэлектрических элементов. Приводится разработанная авторами структурная схема электронного блока данной системы, описан ее состав и назначение блоков, приводится принцип работы разработанной системы.

Ключевые слова: антиобледенение, тепловой метод, ультразвуковые колебания, противообледенительная система, структурная схема, пьезоэлектрические элементы, импеданс

Для цитирования: Ишков А. С., Антонов А. А., Сарайкин А. А., Земляков Д. В. Ультразвуковая противообледенительная система лопастей винтов вертолета // Инжиниринг и технологии. 2022. Т. 7(1). С. 1–5. doi:10.21685/2587-7704-2022-7-1-1

Ultrasonic de-icing system for helicopter rotor blades

Anton S. Ishkov

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
ishkovanton@mail.ru

Anton A. Antonov

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
tonchic2001@mail.ru

Aleksandr A. Saraykin

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
fortyna579@gmail.com

Dmitriy V. Zemlyakov

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
zemliakov.mitya2016@yandex.ru

Abstract. This article provides an overview of modern methods and technical means to combat icing of a helicopter main and tail rotor blades. The operating principle, characteristic features, and application areas of such systems are specified, and an analysis of their advantages and disadvantages is presented. The authors have proposed an anti-icing system based on using ultrasonic vibrations of piezoelectric elements. The article presents an authorial structural diagram for the electronic block of this system, describes its composition and purpose of the blocks, and provides the operating principle of the developed system.



Keywords: de-icing, thermal method, ultrasonic fluctuations, de-icing system, structural scheme, piezoelectric elements, impedance

For citation: Ishkov A.S., Antonov A.A., Saraykin A.A., Zemlyakov D.V. Ultrasonic de-icing system for helicopter rotor blades. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2022;7(1):1–5. (In Russ.). doi:10.21685/2587-7704-2022-7-1-1

Задача определения принадлежности мобильных объектов («свой» или «чужой») является одной из наиболее важных при ведении военных действий. От ее эффективного решения всецело зависит эффективность применения поражающих средств. На разных уровнях технологического развития и для разного рода технических средств эта задача решалась по-разному, но смысл оставался одним и тем же: квалифицировать принадлежность объекта той или иной стороне и зафиксировать его местоположение в системе координат поражающих средств. Для определения государственной принадлежности объектов практически во всех армиях мира принято использовать системы радиолокационного опознавания (РЛО) [1]. В настоящее время существует достаточное количество систем-прототипов, используемых для опознавания и целеуказания. В качестве простейшей можно рассматривать стандартную систему опознавания для самолетов, состоящую из радаров (для обнаружения целей) и системы закрытой радиосвязи для посылки шифрованного сигнала запроса и получения шифрованного сигнала-отзыва от объекта. В качестве более сложного прототипа можно предложить, например, систему, состоящую из боевого радара, лазерного дальномера и системы закрытой радиосвязи между «своими» объектами и средствами огневой поддержки (истребителями, вертолетами и т.п.), на которых размещаются эти радары и дальномеры. Смысл работы такой системы будет заключаться в «обзоре» местности визуально или боевым радаром, визуальном (ручном) выборе цели, «прицеливании» при помощи лазерного дальномера, выполнении атаки и поражении цели соответствующими огневыми средствами.

Авторами предлагается система опознавания государственной принадлежности, состоящая из двух функциональных частей – запросчика, находящегося у командира или в штабе, и ответчиков, которыми оснащены рядовые военнослужащие.

Актуальность

Когда вертолет входит в область обледенения, переохлажденные капли воды падают на переднюю кромку его лопасти. Образование льда на лопастях несущего винта приводит к нарушению аэродинамики летательного аппарата, что может повлечь за собой катастрофические последствия.

Обледенение – это образование льда (иней или изморози) на обтекаемых частях вертолетов при полете в облаках, тумане и мокром снеге, возникающее при отрицательной температуре воздуха, поверхности воздушного пространства, и наличии в воздухе достаточной влаги [1].

Наиболее опасным является обледенение именно несущего винта вертолета, которое отличается значительным своеобразием. При температуре воздуха ниже -10°C лопасти большинства вертолетов покрываются льдом практически по всей длине [2].

Существующие технические решения

Для предотвращения критического образования льда на несущем винте разрабатываются различные системы защиты от обледенения. Проведя анализ существующих систем противообледенения, авторы разделили все эти системы по принципу работы на две группы: тепловые и нетепловые.

Принцип работы тепловой системы противообледенения сводится к тому, что в ней используется тепловая энергия для растопления накопившегося льда. Однако при эксплуатации данной системы возникает множество проблем, основная из которых состоит в том, что такая система требует большого количества энергии и способствует нежелательному увеличению общего веса и стоимости вертолета. Необходимо также отметить проблему «бега воды назад», поскольку неправильно сублимированная ледяная жидкость может течь в кормовом направлении и снова замерзнуть в том месте, где нет защиты ото льда. Эти недостатки сильно ограничивают область применения электротепловых систем.

Авторы также приводят несколько распространенных в настоящее время нетепловых методов антиобледенения: электроимпульсное, пневматическое, жидкое и ультразвуковое антиобледенение. Хотя снижение мощности и нетепловое удаление льда было достигнуто этими предлагаемыми системами, каждая из них также имеет свои недостатки. Электроимпульсное противообледенение никогда не применялось к лопастям несущего винта вертолета из-за большого объема приведения в действие.



Пневматические противообледенительные системы в неразвернутом положении создают нежелательное увеличение мощности для горизонтального полета и избыточные вибрации в развернутом положении [3]. В реализации жидкого метода сложности связаны с тем, что требуется перевозка на борту большого количества жидкости, которая в свою очередь должна передаваться через сложные скользящие кольца.

Недостатки приведенных противообледенительных систем устраняются использованием ультразвуковой маломощной системы защиты ото льда. В таких системах используются резонирующие пьезоэлектрические сдвиговые приводы, с помощью которых генерируются ультразвуковые колебания на границе раздела лед/лопасть вертолета, вследствие чего происходит мгновенное микроскопическое растрескивание и таяние слоев льда. Однако для такого быстрого действия необходимо согласование импеданса между приводом и источником усиления, заключающееся в равенстве выходного сопротивления источника питания и входного сопротивления привода, к которому источник подключен [4]. Это делается для максимальной передачи мощности в нагрузку и минимизации отражений от нее [5].

Техническое решение

На основе проведенного обзора методов и средств антиобледенения, исследования их особенностей, области применения, предпосылок дальнейшего их использования авторами был обоснован и принят в использование ультразвуковой метод. На основе проведенного исследования была разработана структурная схема противообледенительной системы лопастей вертолета, которая изображена на рис. 1.

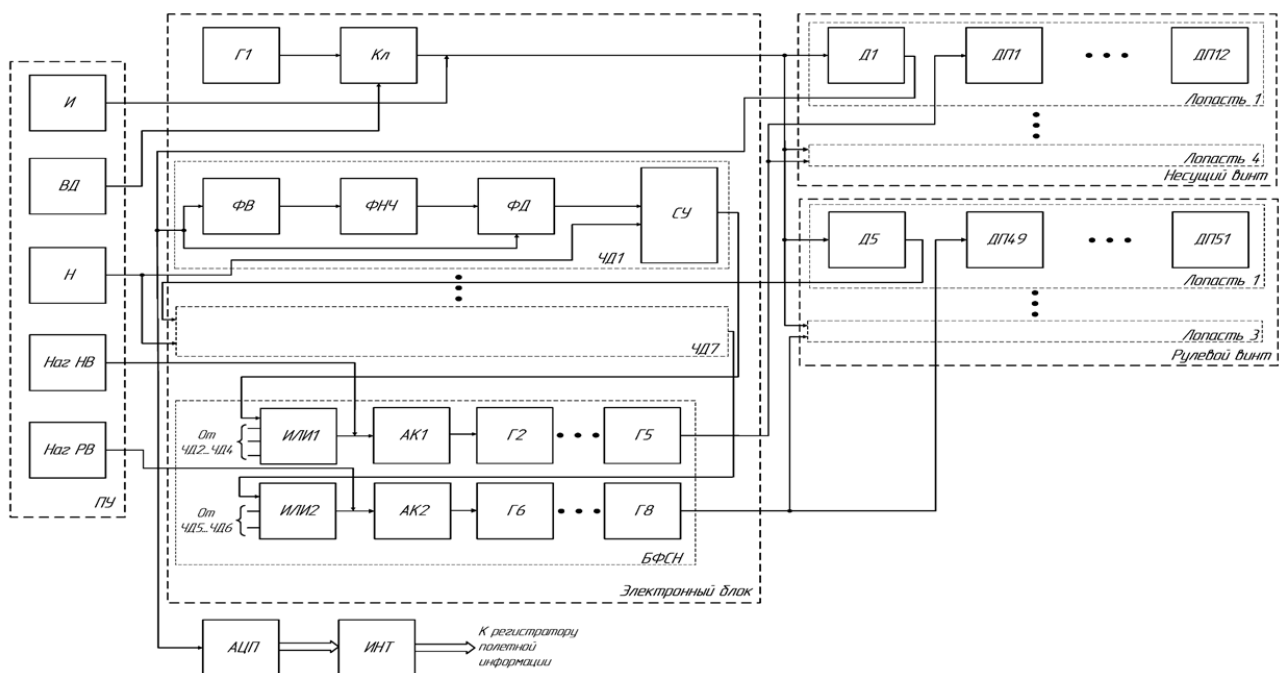


Рис. 1. Структурная схема электронного блока противообледенительной системы винтов лопастей вертолета

Конструктивно данная система состоит из двух подсистем. Подсистема сбрасывания льда с лопастей несущего винта состоит из датчиков измерения толщины льда (Д) и дисковых приводов РЗТ-4 (ДП), размещенных на четырех лопастях. Генератор (Г1), который включается при запуске пилотом системы противообледенения, соединен с ключом (Кл). Когда толщина льда на лопастях вертолета достигнет критической величины, сигнал после датчика (Д) проходит в частотный дискриминатор, состоящий из фазовращателя (ФВ), фильтра нижних частот (ФНЧ), фазового детектора (ФД) и сравнивающего устройства (СУ). В СУ происходит сравнение частоты сигнала и эталонной частоты, установленной в блоке настройки (Н) пульта управления (ПУ). Относительно других лопастей процесс прохождения сигнала осуществляется аналогичным образом, и все сигналы попадают на логический элемент «ИЛИ» (ИЛИ1). Если сигнал на одном из датчиков превышает критическое значение или хотя бы равен ему, то на выходе элемента «ИЛИ» будет логическая единица, которая поступает



на аналоговый ключ (АК1), который в свою очередь запускает генераторы (Г2–Г5), вырабатывающие сдвиговые напряжения, необходимые для работы приводов РЗТ-4 (ДП).

На лопастях рулевого винта вертолета датчики работают аналогично. Сигналы с их выходов поступают на элемент ИЛИ2. Если на его выходе установится логическая единица, то она попадает на аналоговый ключ (АК2), запускающий генераторы Г6–Г8. Генераторы, аналоговые ключи и элементы «ИЛИ» составляют блок формирования сдвиговых напряжений (БФСН).

Подсистема сбрасывания льда с лопастей рулевого винта имеет аналогичную структуру за исключением количества генераторов (три генератора на три датчика), лопастей, и следовательно, количества блоков.

В состав всей системы также входят аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), блоки индикации (И), (Наг НВ – РВ) и интерфейс передачи данных.

Описание принципа работы

Опишем принцип работы данной системы. В момент включения пилотом противообледенительной системы на генератор, необходимый для формирования напряжения на датчиках, подается питание. На каждой лопасти несущего имеется датчик и двенадцать дисковых приводов, на каждой лопасти рулевого винта – один датчик и три дисковых привода. В качестве датчиков используются пьезоэлектрические элементы, в которых даже в отсутствие электрического поля возникает электрическая поляризация при приложении к ним механических напряжений.

В кабине пилота включается светодиодный индикатор, что является свидетельством работы системы. Выходное напряжение генератора, поступая на обмотку пьезоэлектрического элемента, возбуждает колебания в его мембране. Частота ее колебаний зависит от частоты напряжения, поступающего на обмотку с генератора, и от жесткости самой мембраны. Во всем пьезоэлектрическом элементе возникает переменное напряжение, частота которого равна частоте его подвижной части.

При входе вертолета в область обледенения на мембране его пьезоэлектрического элемента образуется лед, тем самым увеличивая ее жесткость. Частота переменного напряжения элемента начинает совпадать с частотой его мембраны. Напряжение на выходе пьезоэлектрического элемента, пропорциональное толщине наледи, поступает на частотный дискриминатор. Сигнал делится на две составляющие, фазовый сдвиг между которыми равен 90° . При отклонении частоты входного напряжения от переходной, фазовый сдвиг изменяется в соответствии с фазовой характеристикой резонансного контура, и одновременно с этим амплитуда напряжения второй составляющей сигнала начинает уменьшаться. Выходное напряжение фазового детектора изменяется.

Напряжение с фазового детектора подается на первый вход компаратора. На второй его вход поступает напряжение с установленной в блоке настройки частотой. Блок настройки находится в кабине пилота. Компаратор выполняет функцию сравнения напряжений, поступающих на его входы. Если частоты этих двух напряжений равны, то на выходе компаратора появляется сигнал, который поступает на логический элемент «ИЛИ», расположенный на несущем винте. В кабине пилота загораются индикаторы нагрева одного из винтов или их обоих. Если на выходе элемента «ИЛИ» образуется логическая единица, то сигнал с компаратора поступает на аналоговый ключ, который включает генераторы Г2–Г5. В генераторах обрабатываются сигналы на резонансной частоте. После обработки эти сигналы поступают на дисковые приводы, которые работают как двигатели переменного тока. В каждом генераторе выделяется сигнал для дисковых приводов конкретной лопасти. С трех других пьезоэлектрических элементов, находящихся на лопастях несущего винта вертолета, процесс прохождения сигнала происходит аналогичным образом.

С пьезоэлектрических элементов рулевого винта сигнал проходит аналогично несущему за исключением того, что у рулевого винта имеется свой логический элемент «ИЛИ» и аналоговый ключ запускает генераторы Г6–Г8.

На лопасти несущего винта находится датчик, с которого данные передаются бортовому регистратору через АЦП.

Заключение

В ходе проведенного анализа существующих на сегодняшний день противообледенительных систем, изучения их достоинств и недостатков авторами была предложена ультразвуковая противообледенительная система, поскольку в ней устраняются недостатки других рассмотренных систем, связанные с потреблением энергии, быстродействием, простотой реализации, области применения и т.д.

Была предложена структурная схема электронного блока противообледенительной системы и описан принцип ее работы.



Список литературы

1. Громов В. С. Противообледенительная система вертолета // *ACADEMY*. 2016. № 6 (9). С. 32–34.
2. Palacios J., Smith E. and Rose J. Instantaneous De-Icing of Freezer Ice via Ultrasonic Actuation // *AIAA Journal*. 2011. Vol. 49, № 6. doi:10.2514/1.J050143
3. Overmeyer A., Palacios J. L. and Smith E. C. Rotating Testing of a Low-Power, Non-Thermal Ultrasonic De-icing System for Helicopter Rotor Blades // *SAE 2011 International Conference on Aircraft and Engine Icing and Ground Deicing*. Penn State Univ, 2011. doi:10.4271/2011-38-0098
4. Chen Yong and Fu Liang. Numerical Simulation of Helicopter Blade Ice Shedding using a Bilinear Cohesive Zone Model // *SAE 2015 International Conference on Icing of Aircraft, Engines, and Structures*. Shanghai Jiao Tong Univ, 2015. doi:10.4271/2015-01-2102
5. Патент 2467927 RU, МПК В64D015/16. Передняя кромка летательного аппарата / Гантье Фабрис, Порт Ален ; заявитель и патентообладатель ЭРБИУС ОПЕРАСЬОН (САС) (FR). № 2009122730/11.

References

1. Gromov V.S. Helicopter anti-icing system. *ACADEMY*. 2016;(6):32–34. (In Russ.)
2. Palacios J., Smith E. and Rose J. Instantaneous De-Icing of Freezer Ice via Ultrasonic Actuation. *AIAA Journal*. 2011;49(6). doi:10.2514/1.J050143
3. Overmeyer A., Palacios J.L. and Smith E.C. Rotating Testing of a Low-Power, Non-Thermal Ultrasonic De-icing System for Helicopter Rotor Blades. *SAE 2011 International Conference on Aircraft and Engine Icing and Ground Deicing*. Penn State Univ. 2011. doi:10.4271/2011-38-0098
4. Chen Yong and Fu Liang. Numerical Simulation of Helicopter Blade Ice Shedding using a Bilinear Cohesive Zone Model. *SAE 2015 International Conference on Icing of Aircraft, Engines, and Structures*. Shanghai Jiao Tong Univ. 2015. doi:10.4271/2015-01-2102
5. Patent 2467927 RU, МПК В64D015/16. *Perednyaya kromka letatel'nogo apparata = Leading edge of the aircraft*. Gant'e Fabris, Port Alen; applicant and patent holder. ERBYuS OPERAS"ON (SAS) (FR). No. 2009122730/11. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 10.03.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 11.04.2022

Принята к публикации / Accepted 28.04.2022