

УДК 629.7.067

*Тастанкул А., магистрант 2-курса,  
Научный руководитель: Карипбаев С.Ж., доктор PhD  
Академия Гражданской Авиации, г. Алматы*

## АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕННЫХ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

### ӘУЕ КЕМЕЛЕРІНІҢ МҰЗДАНУЫН БАҚЫЛАУДЫҢ КЕҢ ТАРАЛҒАН ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ

### ANALYSIS OF COMMON METHODS OF COMBATING AIRCRAFT ICING

**Аннотация.** Статья является обзорным материалом на широко распространенные методы борьбы с обледенением современных воздушных судов: электрическим и воздушно-тепловым. Даны общие схемы исполнения таких систем с описанием их положительных и отрицательных качеств.

**Ключевые слова:** обледенение, электрический обогрев, воздушно-тепловой обогрев.

**Аңдатпа.** Мақала заманауи әуе кемелеріндегі мұздануға қарсы кең таралған электрлік және ауа-жылу әдістерге шолу болып табылады. Осындай жүйелердің жалпы орындалу сызбалары олардың тиімді және теріс жақтары көрсетілген.

**Түйін сөздер:** мұздану, электрлік жылыту, ауа-жылу жылыту.

**Abstract.** The article is a review material on the widespread methods of anti-icing of modern aircraft: electro-thermal and air-thermal. General schemes for the execution of such systems with a description of their positive and negative qualities are given.

**Key words:** icing, electro-thermal anti-icing, air-thermal anti-icing.

**Введение.** Обледенение – одна из вечных негативных составляющих авиационной отрасли с момента его зарождения. Согласно данным Международной организации гражданской авиации (ИКАО) с 1986 по 1996 обледенение стало причиной 42 авиационных происшествий [1].

Особую опасность представляют обледенение аэродинамических поверхностей (крыло, стабилизатор, несущие винты вертолетов), элементов двигателей и движителей (лопатки компрессоров и вентиляторов, воздушные винты) и различных датчиков навигационных систем (приемники давления, датчики угла атаки). Образующиеся слои льда изменяют геометрию профиля элементов и тем самым изменяют и аэродинамические характеристики. В газотурбинных двигателях обледенение лопаток компрессора и вентилятора может привести к динамическому дисбалансу ротора и возникновению вредной вибрации. Опасно обледенение также для карбюраторов поршневых двигателей ввиду изменения геометрии каналов подвода топливо-воздушной смеси.

С развитием науки и техники, были внедрены многие методы борьбы с обледенением. В случаях уже образованного обледенения применяют методы их удаления, где большее распространение получили химический и воздушно-тепловой методы. Для предотвращения нового обледенения применяют различные обогревательные элементы: воздушно-тепловые, вибрационные, химические, электрические.

На законодательном уровне приняты требования по обеспечению методов активной и пассивной борьбы с обледенением, например в нормах летной годности Республики Казахстан данной проблеме требования предъявлены в §15 [2].

Несмотря на текущий уровень развития авиационной техники, проблемы обледенения встречаются и сегодня, хоть и в малых масштабах и с не критическими последствиями. Одним из таких проблем является обледенение входного устройства вспомогательных силовых установок самолетов семейства Airbus A320, которая приводит к автоматическому выключению двигателя [3].

В данной статье дан сравнительный анализ двух самых распространенных методов предотвращения обледенения: электрической и воздушно-тепловой систем обогрева элементов конструкции. Главной задачей является возможность внедрения таких систем на уже существующие воздушные суда.

### Электрический обогрев

Электрический обогрев (англ. *Electro-thermal anti-icing*) на сегодняшний день является самым эффективным методом защиты от обледенения следующих элементов авиационной техники:

- передней кромки крыла и стабилизатора;
- датчиков приемников полного и динамического давлений;
- датчиков угла атаки;
- фонаря кабины пилотов;
- сливных мачт водяной системы;
- труб и баков хранения водяной и туалетной систем.

В рис. 1 приведена схема классического электрического обогрева.

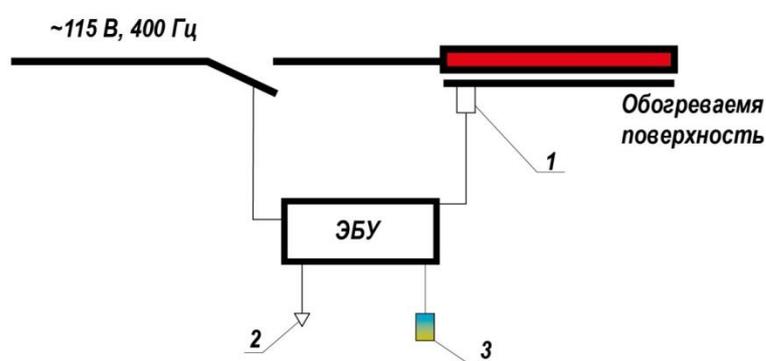


Рис. 1. Принципиальная схема электрического обогрева. 1 – датчик температуры, 2 – датчик обледенения, 3 – датчик «земля-воздух»

Обогревательный элемент (в виде пластины или гибкой ленты) представляет собою проводник с удельным электрическим сопротивлением  $1,0 - 1,5 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ , который при воздействии переменного тока  $115 \text{ В } 400 \text{ Гц}$  производит работу с выделением тепла. Это тепло передается к обогреваемому узлу за счет прямого контакта по поверхности. Изготавливают обогревательные элементы из сплавов меди с никелем или из нихрома.

На обогреваемом узле установлен датчик температуры 1, которая посылает в блок управления постоянный сигнал. На основании этих данных блок управления (БУ) регулирует подаваемую электрическую энергию на обогреватель и контролирует работу системы. Такая связка БУ-Датчики выполняет функции термостата с тонкой и точной регулировкой.

Датчик обледенения 2 определяет текущее состояние атмосферы и при образовании наледи посылает сигнал на БУ на включение обогрева. Для предотвращения включения обогрева на земле после посадки, БУ получает данные о положении самолета через датчик «земля-воздух» 3 (концевика шасси).

Блок управления представляет собою ЭВМ, которая питается от самолетной сети постоянного тока с напряжением 28 В. БУ устанавливаются в герметичной части воздушного судна, например в отсеке авионики.

Одним из главных минусов электрического обогрева является значительные затраты электрической энергии. Поэтому на самолетах 70-80-х годов XX века электрический обогрев передней кромки крыла был организован по секциям: обогрев каждой секции чередовались и тем самым обеспечивалась малая потребность в электричестве.

В начале XXI века с повышением качества электрических и электронных систем были приняты на вооружение принципы полностью электрического самолета. Более полноценно эти идеи воплотились на самолетах Boeing 787 Dreamliner, где единственным конструктивным элементом без электрического обогрева является входное устройство двигателя. Это стало достижимо установкой сразу нескольких генераторов переменного тока на каждом двигателе.

Преимуществами систем с электрическим обогревом являются:

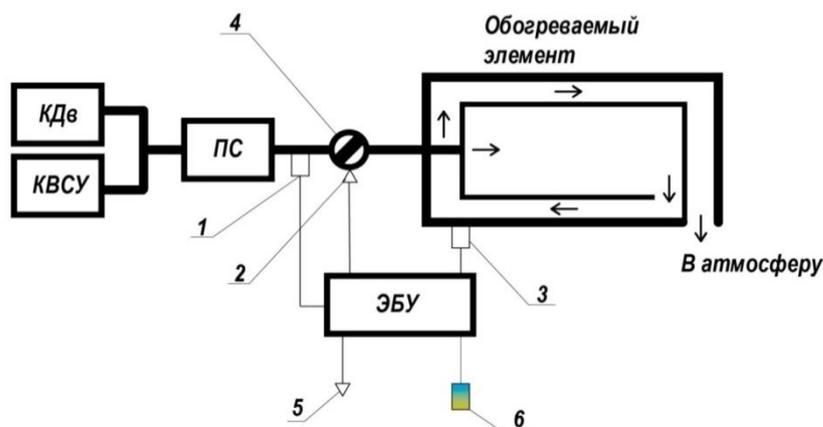
- легкость элементов системы;
- легкая, гибкая настройка и управление;
- гибкость и возможность подвода обогревательных элементов во многие части конструкции, в том числе и к подвижным элементам;
- высокий КПД (до 90 %).

Недостатками же являются:

- большой расход электрической энергии на обогрев;
- меньшая надежность обогревательных элементов;
- пожарная опасность в случае дефектов обогревательных элементов;
- невозможность обогрева многих видов материалов, применяемых в конструкции.

### Воздушно-тепловой обогрев

Воздушно-тепловой обогрев (англ. *air-thermal anti-icing*) предназначен для предотвращения обледенения и удаления уже образовавшегося слоя льда путем обдува горячим воздухом. Источником горячего воздуха выступает пневматическая система, которая отбирает его от компрессоров двигателя и вспомогательной силовой установки. Принципиальная схема воздушно-теплого обогрева приведена на рис. 2.



*Рис. 2.* Принципиальная схема воздушно-теплового обогрева. 1 – датчик давления, 2 – датчик положения клапана управления, 3 – датчик температуры, 4 – клапана управления, 5 – датчик обледенения, 6 – датчик «земля-воздух»

В случае горячего обдува таких аэродинамических узлов, как передние кромки крыла и хвостового оперения, в том числе и подвижных предкрылков, воздух через жесткие и/или гофрированные трубопроводы поступает во внутреннюю поверхность этих узлов. Конструкция трубопроводов внутри обогреваемых узлов представляется собою трубу с отверстиями (внутренний прямоугольник на *рис.2*), через которые воздух поступает во внутреннюю полость. Данные трубки получили названия трубки пикколо (англ. *Piccolo tubes*). Во внутренней полости сделаны специальные каналы, по которым обеспечивается ток воздуха. За счет тока горячего воздуха происходит тепловой обмен с внешней поверхностью. Отработавший воздух выводится в атмосферу через дренажные отверстия в нижней поверхности.

Для контроля над обогревом установлены клапаны управления 4, которые так же служат для полного выключения системы в случаях перегрева. Отслеживание работы системы на современных ВС осуществляется при помощи блоков управления БУ, которые аналогичны электрическому обогреву. Они получают постоянную информацию о положении клапанов управления от датчика 2. Также постоянно идет сигнал от датчиков температуры 3. Основываясь на этой информации БУ отправляют соответствующие управляющие сигналы к сервомеханизму клапан управления.

Ввиду больших температур работы системы, все трубопроводы изготовлены из титановых сплавов, так как они имеют меньшие коэффициенты теплового расширения, более устойчивы к перегреву и имеют меньший вес по сравнению со стальными элементами. Но при этом обогреваемые поверхности изготовлены из сплавов алюминия, которые подвергнуты искусственному старению металла.

Преимущества:

- постоянство работы в заданных режимах;
- низкий потребный запас энергии;
- отсутствие трущихся и подвижных элементов;
- легкость регулирования и контроля.

Недостатки:

- большой вес оборудования;
- возможность утечки горячего воздуха;
- сложность ремонта и замены узлов системы;
- ограниченность применения по причине объемности узлов и агрегатов.

**Заключение.** Каждый из рассмотренных методов борьбы с обледенением имеет как положительные, так и отрицательные свойства.

Выбор конкретного метода зависит от многих факторов. Главными критериями выбора метода обогрева являются расположение элемента в конструкции и наличие необходимого источника энергии (электричества или горячего воздуха).

Также критериями выбора являются размеры обогреваемого элемента: для малых площадей (до 100 см<sup>2</sup>) эффективнее использовать электрический обогрев ввиду малых размеров обогревателя.

Возможность перегрева в обоих случаях несет риски пожарной безопасности летательных аппаратов. В связи с этим обязательным является своевременное предупреждение и выключение данных систем. Их быстроедействие обеспечивается за счет быстрых электронно-вычислительных машин.

**Список использованных источников**

1. Cao, Yihua & Tan, Wenyuan & Wu, Zhenlong. (2018). Aircraft icing: An ongoing threat to aviation safety. *Aerospace Science and Technology*. 75. 10.1016/j.ast.2017.12.028.
2. Приказ и.о. Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 27 марта 2015 года № 367 «Об утверждении норм летной годности гражданских воздушных судов Республики Казахстан».
3. Тастанкул А.А., Карипбаев С.Ж. Проблема обледенения входного устройства вспомогательной силовой установки самолетов семейства Airbus A320. *Вестник Академии Гражданской Авиации*, выпуск №2 (17) 2020, стр. 127-131.
4. *Aviation maintenance technician handbook – Airframe. Volume 2*. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Flight Standards Service, FAA-H-8083-31. 2012.
5. Сторожук Михаил Валерьевич Наземное обледенение воздушных судов: меры по предупреждению авиа-ционных происшествий // *Научный вестник МГТУ ГА*. 2015. №219 (9). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nazemnoe-obledenenie-vozdushnyh-sudov-mery-preduprezhdeniyu-avia-tsiionnyh-proisshestviy> (дата обращения: 25.02.2021).