
МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 531.768.082.14

В.Д. Вавилов¹, А.Н. Суконкин²

ОБЗОР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ СИГНАЛИЗАТОРОВ ОБЛЕДЕНЕНИЯ

Арзамасский политехнический институт (филиал) НГТУ им. Р.Е. Алексеева¹,
ОАО «АОКБ «Импульс»»²

Рассмотрены сигнализаторы обледенения, дающие информацию об условиях обледенения, образовании льда на поверхности летательного аппарата и сигнализаторы наличия (толщины) льда, регистрирующие наличие (толщину) льда непосредственно на контролируемой поверхности летательного аппарата, предназначенные для выдачи соответствующих выходных сигналов и автоматического включения противообледенительных систем (ПОС) при обледенении поверхности летательного аппарата. Приведена классификация сигнализаторов по принципу действия. Проведен анализ отечественных и зарубежных сигнализаторов обледенения, наличия и толщины льда. По результатам проделанной работы сделаны выводы и даны рекомендации в части создания перспективных сигнализаторов вибрационного принципа действия.

Ключевые слова: сигнализатор обледенения, противообледенительная система, обледенение, чувствительный элемент, интенсивность обледенения, детектор, зона обледенения.

С развитием авиации, ее скоростных и аэродинамических характеристик к бортовому оборудованию летательных аппаратов (ЛА) предъявляются требования минимальных габаритов и массы, повышая одновременно требования по устойчивости к механическим и климатическим воздействующим факторам. Бортовые приборы должны быть надежны в работе, отвечать тактико-техническим требованиям, спроектированы с применением перспективной элементной базы и прогрессивных технологических процессов.

Безопасность полетов в сложных метеорологических условиях для современных летательных аппаратов во многом зависит от надежной информации о наличии обледенения, которая выдается с помощью сигнализаторов обледенения (СО), датчиков наличия (толщины) льда (ДТЛ).

Обледенение ухудшает аэродинамические характеристики и летные качества ЛА, что, в свою очередь, приводит к уменьшению максимальной скорости, практического потолка, дальности и продолжительности полета, отказу ряда агрегатов и приборов.

Для защиты от обледенения ЛА оборудуются специальными противообледенительными системами (ПОС). Широко используемые в настоящее время ПОС являются системами циклического действия, наиболее экономичными с точки зрения потребляемой энергии.

Для эффективной работы ПОС необходимо своевременное ее автоматическое (или ручное) включение при попадании в условия обледенения, а также оптимальное управление ею. Это требование может быть достигнуто установкой на ЛА надежных сигнализаторов обледенения, своевременно выдающих информацию об обледенении поверхности, а также систем автоматического управления ПОС, обеспечивающих эффективное использование информации СО для предотвращения процесса обледенения ЛА.

Некоторые типы современных ПОС требуют информацию не только об обледенении, но и о толщине накопленного льда непосредственно на защищаемой поверхности. В одних

случаях эта информация является важной с точки зрения устойчивости и управления полета, в других, кроме того, позволяет контролировать эффективность работы ПОС. Приборы, позволяющие получить такую информацию, классифицируются как сигнализаторы наличия (толщины) льда.

В настоящее время имеется большое количество сигнализаторов различных принципов, которые можно разделить на следующие типы:

- 1) визуальные;
- 2) механические (вибрационные);
- 3) пневматические;
- 4) электротермические;
- 5) электрокондуктивные;
- 6) конденсаторные;
- 7) радиоизотопные;
- 8) электростатические;
- 9) оптические;
- 10) дистанционные;
- 11) ультразвуковые [1].

Механические (вибрационные) сигнализаторы основаны на взаимодействии льда с чувствительным элементом, который может совершать вращательное, колебательное, возвратно-поступательное или какое-либо другое движение. Преимуществом их является то, что сигналы обледенения выдаются только в том случае, когда обледенение действительно существует. Механические сигнализаторы не реагируют на дождь, снег, кристаллы льда, изменение скорости, высоты и наружной температуры.

Пневматические сигнализаторы основаны на сравнении двух динамических давлений или сравнении динамического и статического давлений, подаваемых на дифференциальный манометр.

При наличии обледенения одно из сравниваемых давлений изменяется за счет уменьшения заборных отверстий, при этом прогибается мембрана, которая замыкает электрические контакты сигнализации.

Преимуществами данного типа сигнализаторов являются простота конструкции, небольшой вес, выдача сигнала об обледенении непосредственно с контактов мембранного типа без усилителей и преобразователей.

Недостатками пневматических сигнализаторов являются подверженность засорению отверстий датчика, отсутствие выходных сигналов и команд для автоматического включения и выключения ПОС.

Электротермические сигнализаторы реагируют на изменение теплообмена чувствительных элементов с внешней средой при попадании ЛА в условия, способствующие обледенению.

Достоинства этих сигнализаторов: быстродействие, непрерывность процесса измерения интенсивности обледенения, возможность автоматического управления потребляемой мощностью.

Недостаток: возможность ложных срабатываний при наличии капель воды и кристаллов льда.

Электрокондуктивные сигнализаторы используют измерение электропроводности пленки воды на датчике или изменение электропроводности пористого слоя на датчике при наличии льда. Недостатком является малая надежность работы чувствительного элемента.

Конденсаторные сигнализаторы основаны на использовании зависимости величины диэлектрической постоянной льда от частоты вибрации датчика (диэлектрическая постоянная воздуха и воды зависит от частоты в меньшей степени). Сигнализаторы данного типа могут измерять абсолютную или относительную влажность и выдавать сигнал при образовании льда на датчике.

Недостатки сигнализаторов конденсаторного типа: большие габариты датчика из-за невозможности сделать конденсатор необходимой емкости при малых линейных размерах, ложные срабатывания сигнализатора при отложении на датчике масла, грязи, влаги, низкая помехозащищенность от электрических наводок.

Радиоизотопные сигнализаторы основаны на эффекте поглощения слоем льда β -излучения радиоактивного источника. При появлении льда поток β -частиц поглощается, счетчик излучения (Гейгера) регистрирует уменьшение потока и выдает сигнал на усилитель, который включает ПОС.

Недостаток указанных сигнализаторов: неудобства, связанные с использованием радиоактивных материалов.

Электростатические сигнализаторы основаны на регистрации изменения электростатического поля при образовании льда на датчике.

Оптические сигнализаторы определяют изменение интенсивности прямого и отраженного луча при наличии льда на датчике. С помощью фотоэлемента и усилителя данная информация преобразуется в сигнал об обледенении.

Дистанционных сигнализаторы основаны на отражении луча локатора от облаков и оценке мощности отраженного сигнала, которая изменяется при наличии в воздухе капель воды или кристаллов льда.

Ультразвуковые сигнализаторы - принцип действия основан на изменении амплитуды и фазы отраженного эхо-сигнала при наличии льда на датчике.

Существующие в настоящее время сигнализаторы обледенения условно можно разделить на две основные группы: прямого и косвенного действия.

Сигнализаторы прямого действия реагируют непосредственно на образование льда на датчике. На чувствительность сигнализаторов данной группы в значительной степени влияют размеры и форма датчиков, а также место установки датчика на ЛА. Чувствительность сигнализаторов тем выше, чем меньше диаметр датчика (если он цилиндрический) или остроконечнее его лобовая часть (если он профильный).

Основной недостаток сигнализаторов прямого действия заключается в том, что они выдают сигнал только спустя некоторое время после начала обледенения и, кроме того, многие из них не реагируют на «рогообразные» формы льда.

Сигнализаторы косвенного действия реагируют на наличие в атмосфере капель воды. Принцип действия их основан на измерении косвенных параметров, связанных с процессом обледенения: теплоотдачи, электропроводности, сопротивления и др.

Сигнализаторы этой группы имеют высокую чувствительность: они выдают сигнал практически одновременно с началом обледенения, а в некоторых случаях - даже за несколько секунд до начала (благодаря повышению влажности и изменений температуры вблизи облака).

Формы, размеры мало влияют на чувствительность этих сигнализаторов. Существенным недостатком их является то, что они

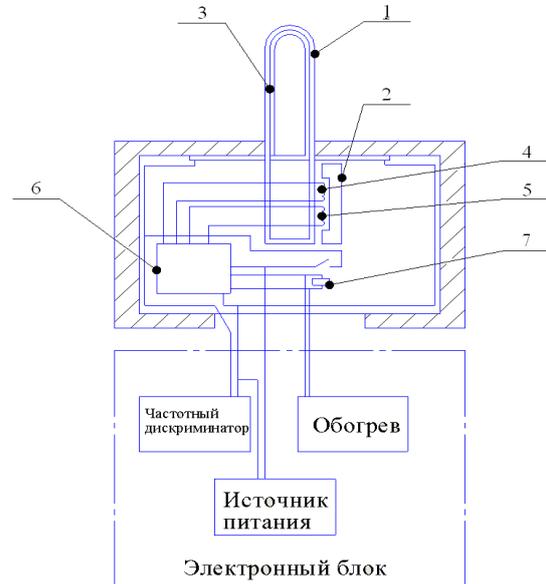


Рис. 1. Конструкция датчика и функциональная схема сигнализатора JDS-1:

- 1 – стержень; 2 – постоянный магнит;
- 3 – обмотка обогревателя; 4 – обмотка возбуждения; 5 – обмотка съема сигнала;
- 6 – магнитострикционный генератор;
- 7 – резонансное реле

могут выдавать ложный сигнал при полетах в кристаллической облачности, в снегопад.

К сигнализаторам обледенения косвенного действия можно отнести также дистанционные методы обнаружения капельной воды в атмосфере - это радиолокационные, ультразвуковые, инфракрасные, лазерные и др., которые позволили бы сигнализировать о наличии обледенения заранее, до входа в облачность.

Такие датчики также требуют надежных устройств, которые отделяли бы действительные сигналы о наличии обледенения от ложных, т.е. могли бы отличать обычные капли от переохлажденных.

Таким образом, в зависимости от выбранного принципа сигнализаторы обледенения могут быть основаны или на определении капельно-жидкой облачности при отрицательной температуре, или на регистрации образования льда на датчике [2].

1. Механические сигнализаторы фирмы Rosemount Engineering Company (США) [3].

Фирма Rosemount выпускает механические сигнализаторы обледенения, основанные на измерении резонансной частоты чувствительного элемента, которая изменяется при его обледенении. Чувствительный элемент датчика представляет собой конструктивное решение, разработанное и запатентованное фирмой Rosemount.

Сигнализатор JDS-1 [4], представленный на рис. 1, имеет чувствительную головку (датчик) цилиндрической формы диаметром 2,5 см, выступающую на 57 мм от фланца крепления и электронный блок. В стержне поддерживаются продольные колебания на резонансной частоте 35 кГц с помощью магнитострикционного генератора. Отложение льда на датчике приводит к уменьшению резонансной частоты. Изменение частоты регистрируется электронным блоком, который вырабатывает сигнал об обледенении, как только изменение частоты превысит допустимое значение (0,8 мм). Датчик имеет обогрев, который включается электронным блоком на время 6 секунд. Под действием обогрева лед тает и удаляется аэродинамическими силами. После выключения обогрева на датчике вновь начинается образование льда, которое будет продолжаться до поступления нового сигнала на включение обогрева.

Частота повторения сигнала на включение обогрева характеризует степень обледенения. Сигнал об обледенении выдается в систему индикации. В качестве индикатора может применяться шкальный прибор или сигнальная лампочка.

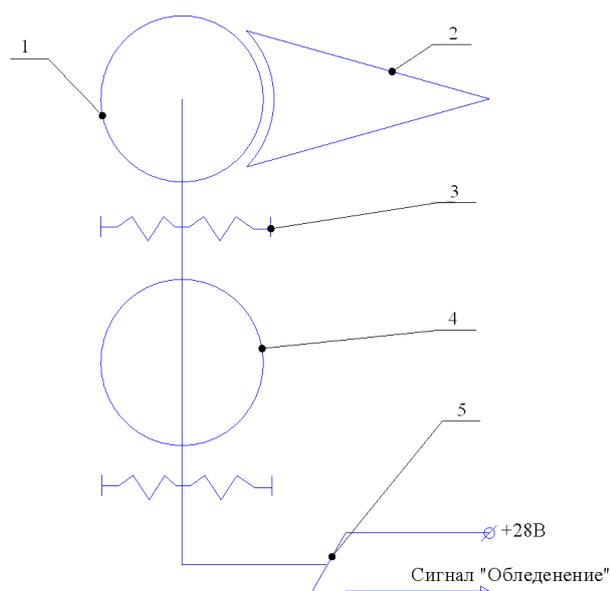


Рис. 2. Функциональная схема сигнализатора фирмы Lucas Industries:

- 1 – цилиндр; 2 – ножевидный скребок;
- 3 – пружина; 4 – электродвигатель;
- 5 – контакт

2. Механический сигнализатор МК-2 фирмы Lucas Industries [5].

Механический сигнализатор МК-2, показанный на рис. 2, представляет собой ножевидный скребок 2 и необогреваемый цилиндр 1, который медленно вращается электродвигателем 4 переменного типа. Электродвигатель подвешен на пружинах 3 так, что он может поворачиваться на небольшой угол (в пределах 0,05 – 0,1 мм относительно ведущего острого конца скребка).

При обледенении между скребком и вращающимся цилиндром создается трение, момент от которого передается на корпус электродвигателя. Электродвигатель поворачивается вокруг оси и замыкает контакт 5, включающий систему сигнализации. После прекращения обледенения электродвигатель под действием пружин возвращается в исходное положение, и контакты размыкаются.

Вес сигнализатора МК-2 не более 1,25 кг.

Недостатками данного сигнализатора являются большие габариты и масса датчика, подверженность засорению зазора между ножевидным скребком и цилиндром, непостоянство сигнала обледенения, «дребезг», отсутствие выхода для автоматического управления ПОС.

Швейцарской фирмой Vibro-Meter SA из Фрейбурга разработан детектор обледенения EW 164 для применения в составе самолетов фирмы «Антонов». Пороговое значение толщины льда, обнаруживаемой детектором льда на чувствительном элементе, составляет 0,5 мм. Датчик готов к работе сразу после включения питания и проведения самотестирования, которое длится менее 1 с. Ограничения по продолжительности непрерывной работы датчика отсутствуют.

Методика измерения обледенения основана на использовании постоянно вибрирующей диафрагмы, изготовленной из коррозионно-стойкого сплава. Диафрагма приводится в колебания на собственной частоте резонанса с использованием электронного осциллятора. Накопление льда на диафрагме увеличивает среднюю жесткость системы «лед-диафрагма», что, в свою очередь, резко увеличивает собственную частоту колебаний. Появление воды или другой жидкости увеличивает массу диафрагмы, но не ее жесткость, при этом собственная частота колебаний уменьшается. Предусмотрена компенсация температурного воздействия. Резонансная частота диафрагмы составляет 74,6 – 81,6 кГц.

Сигнализатор-интенсиметр обледенения РС0-2, разработки Сибирского Научно-исследовательского института авиации им. С.А. Чаплыгина (г. Новосибирск) предназначен для выдачи информации об обледенении, его интенсивности и толщины отложившегося льда. Порог срабатывания сигнализатора составляет: по толщине льда – 0,5 мм, по интенсивности обледенения – 0,05 – 0,2 мм/мин. По сравнению с современными аналогами снижены в 1,5-2 раза цена, массогабаритные характеристики и энергопотребление. Ориентировочная стоимость комплекта составляет 5000\$, масса электронного прибора – 1,2 кг, датчика обледенения – 0,3 кг. Сигнализатор-интенсиметр подготовлен к серийному производству во ФГУП «НИИЭП».

ЗАО НПП «МИФОТЕКС» (г. Казань), разрабатывает интеллектуальный датчик обледенения ИДО-1, предполагаемый к использованию в составе противообледенительной системе вертолета АНСАТ-У. Краткие особенности сигнализатора: моноблочная изолированная конструкция; малые размеры и масса; оптический способ регистрации обледенения, высокая чувствительность, способность к самодиагностике, цифровой интерфейс.

3. Механический (вибрационный) сигнализатор обледенения типа СО-121ВМ (СО-121М).

Сигнализатор состоит из датчика сигнализации льда ДСЛ-40Т (ДСЛ-39МТ) и преобразователя электронного ПЭ-11М.

Принцип действия сигнализатора основан на изменении частоты собственных колебаний чувствительного элемента (мембраны) датчика при появлении на нем пленки льда. Частота колебаний мембраны датчика является функцией ее жесткости.

Функциональная схема сигнализатора приведена на рис. 3.

Чувствительная часть датчика является резонансным элементом в цепи положительной обратной связи усилителя переменного тока, образуя вместе с ним автогенератор колебаний с частотой, равной резонансной частоте датчика.

Устройство чувствительной части датчика приведено на рис. 4.

При оседании льда на мембране датчика повышается ее жесткость, а, следовательно, и частота колебаний мембраны. Частота электрического сигнала на выходе усилителя переменного тока увеличивается, и частотный дискриминатор выдает сигнал в блок выходных команд на включение обогрева датчика и сигнал «Обледенение».

После сброса льда с мембраны датчика частота колебаний восстанавливается, и сигнал на выходе частотного дискриминатора исчезает. В случае наличия условий обледенения процесс повторяется.

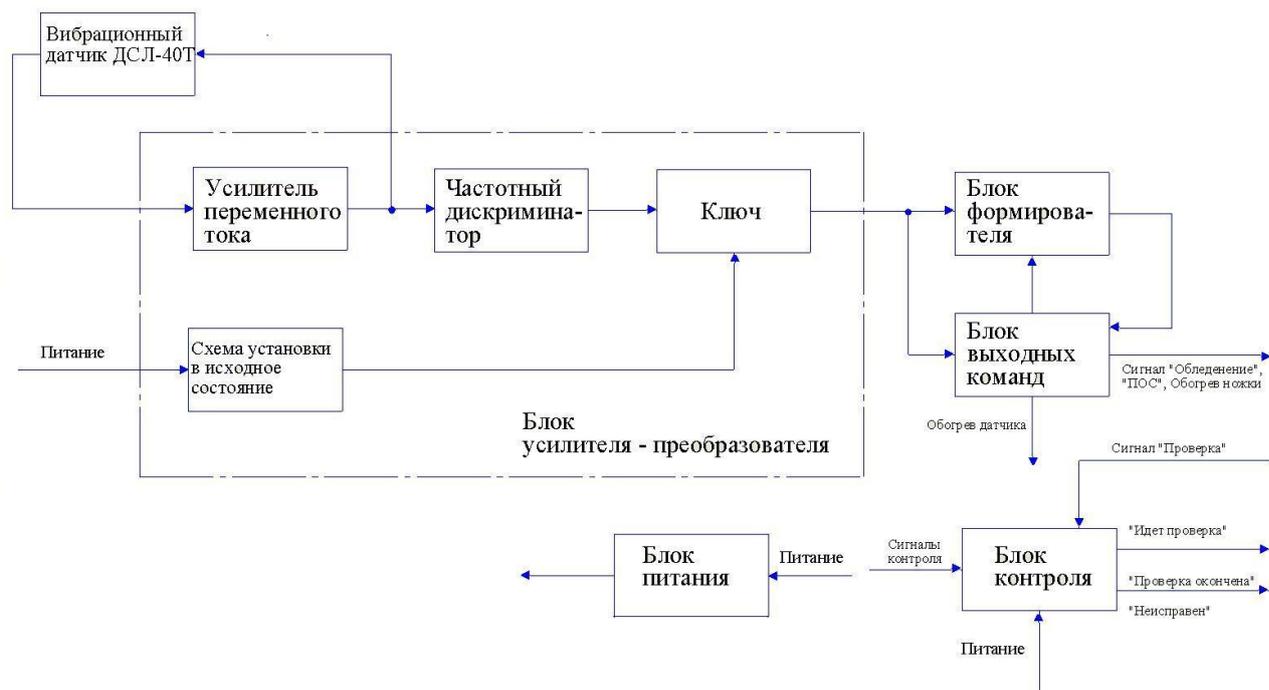


Рис. 3. Функциональная схема сигнализатора обледенения СО-121ВМ (СО-121М)

Сигнал включения обогрева датчика и сигнал «Обледенение» имеют каждый свою задержку по отпусканию. Задержка сигнала на выключение обогрева (около 8 с) необходима для обеспечения полного сброса льда с лобовой части датчика, а задержка сигнала «Обледенение» (около 140 с) требуется для обеспечения его непрерывности при циклической работе датчика в зоне обледенения.

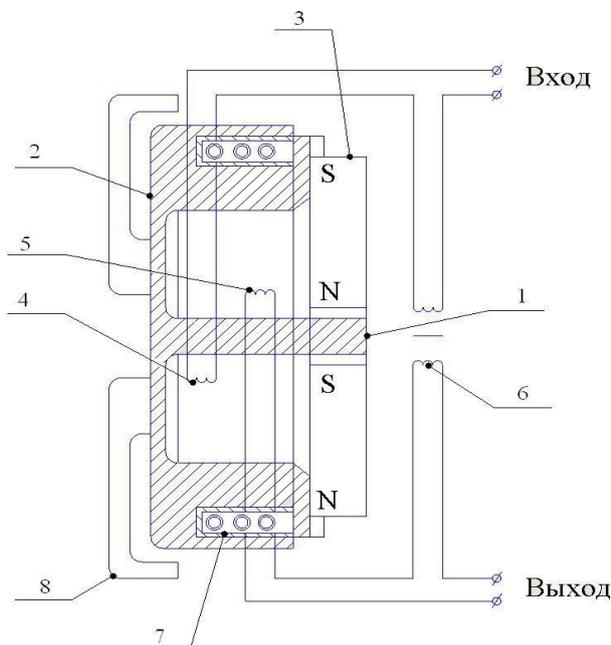


Рис. 4. Устройство чувствительной части датчика сигнализатора типа СО-121 ВМ(СО-121М):

- 1 – якорь; 2 – мембрана; 3 – постоянный магнит; 4 – обмотка возбуждения;
5 – обмотка съема сигнала;
6 – компенсирующий трансформатор;
7 – нагретель; 8 – скоба

Специальные скобы датчика предназначены для демпфирования (или срыва) колебаний мембраны при образовании на датчике рогообразного льда.

Блок формирователя служит для формирования сигналов задержки на включение обогрева датчика и сигнала «Обледенение», а также формирование сигнала «Защита», которая осуществляет защиту датчика от перегрева (по времени обогрева). Блок контроля осуществляет контроль исправности сигнализатора по команде «Проверка» с пульта борт-инженера или от бортовой системы автоконтроля.

Выводы по механическим сигнализаторам обледенения.

Преимуществами механических сигнализаторов являются то, что сигнал об обледенении выдается только в том случае, когда обледенение действительно существует, а также то, что они не реагируют на дождь,

снег, кристаллы льда, изменение скорости, высоты и наружной температуры. Достоинства этих сигнализаторов в том, что они удовлетворительно работают в условиях клино- и рогообразного обледенения.

Механические вибрационные сигнализаторы, принцип работы которых основан на измерении резонансной частоты (малогабаритны, безопасны в эксплуатации), обладают высокой надежностью, вибро- и теплоустойчивостью, что позволяет применять эти сигнализаторы в воздухозаборниках двигателей ЛА.

Механические сигнализаторы скребкового принципа действия вследствие применения перемещающихся деталей имеют несколько худшую надежность.

4. Электротермический сигнализатор обледенения фирмы Taddington (Англия).

Сигнализатор состоит из следующих элементов:

- 1) датчика, установленного на внешней обшивке самолета выше пограничного слоя;
- 2) электронного блока управления;
- 3) индикатора степени обледенения, располагаемого в кабине летчика
- 4) регулятора температуры;
- 5) сигнальной лампочки;
- 6) переключателя температуры.

Для защиты датчика от перегрева при отсутствии потока воздуха имеется бортовой выключатель.

Чувствительные элементы датчика, показанные на рис. 5, имеют два нагревателя из медно-никелевой и платиновой проволоки. Разность потребляемой чувствительными элементами мощности является функцией эффекта охлаждения чувствительного элемента набегающими каплями воды. Сигналы с обоих чувствительных элементов датчика сравниваются в электронном блоке.

Результирующий сигнал подается на индикатор, расположенный в кабине летчика. На шкале индикатора нанесены обозначения степени обледенения (легкое, среднее, сильное) или цифры.

Для того чтобы постоянно не наблюдать за индикатором, установлена сигнальная лампа, которая загорается при определенной степени обледенения.

Чувствительность сигнализатора такова, что сигнальная лампа включается через 1 с. после начала обледенения. Сигнализатор может использоваться для включения противообледенительной системы и для определения влажности.

Сигнализатор питается напряжением 28В постоянного тока и потребляет мощность не более 320 Вт. Ошибка в показаниях не превышает $\pm 5\%$.

Фирмой Dataproducts New England (США) разработан бортовой сигнализатор обледенения модели DNA-A, работа которого основана на использовании скрытой теплоты плавления льда [6].

Сигнализатор предназначен для обнаружения льда на планере самолета и в воздухозаборниках двигателей, а также для обнаружения льда внутри ГТД и карбюратора поршневых двигателей.

Принцип действия сигнализатора обледенения основан на регистрации количества тепла, необходимого для превращения льда в воду.

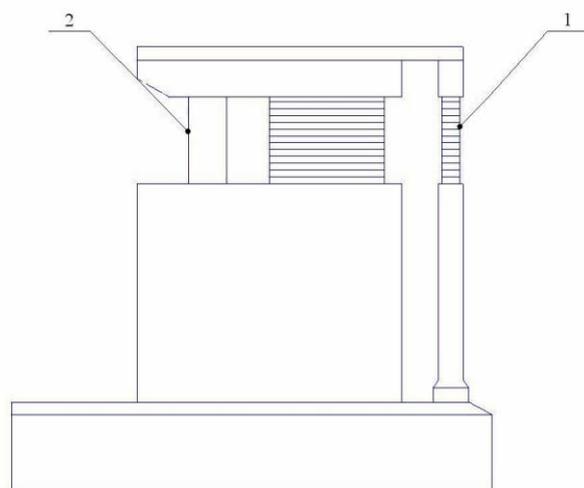


Рис. 5. Конструкция датчика сигнализатора фирмы Taddington:

- 1 - эталонный чувствительный элемент;
2 - рабочий чувствительный элемент

Сигнализатор представляет собой моноблок, содержащий электронный блок и зонд – трубку (щуп), диаметр 9,6 мм, выдвинут электронного блока и находится в воздушном потоке под углом к направлению полета ЛА.

Щуп содержит эталонный и чувствительный проводник, которые намотаны в несколько витков на трубку. В полости этой трубки размещен нагреватель, обеспечивающий плавление ледяного покрытия. К эталонному элементу прикладывается постоянное напряжение, а на чувствительный подается короткий импульс повышенного напряжения, который обуславливает быстрый нагрев проводника. По скорости нагрева этого проводника различают наличие льда или воды на его поверхности.

Разность между токами эталонного и чувствительного элементов в течение указанного временного импульса определяет наличие ледяного покрытия на чувствительном проводнике. При обнаружении ледяного покрытия включается на несколько секунд (5 с) встроенный нагреватель, который расплавляет лед на щупе. Как только щуп остынет, он вновь готов к обнаружению льдообразования.

По данным фирмы, сигнализатор сбрасывает при нарастании льда толщиной 0,12 мм.

5. Электротермический сигнализатор обледенения ИСО-16.

Сигнализатор состоит из следующих элементов:

- датчика ДО-38Т, устанавливаемого на внешней обшивке самолета выше пограничного слоя;
- блоков электронной аппаратуры ЭП-632Т, ЭП-396Т;
- стрелочный указатель интенсивности обледенения И-32;
- технологического пульта ПТ-СО-16, который служит для включения в работу ИСО-16, записи регистрирующих параметров и в комплект не входит.

Вес датчика – 0,5 кг, электронной аппаратуры – не более 4,5 кг.

Потребляемая мощность 300 Вт постоянного тока напряжением 27 В.

Для защиты датчика от перегрева при отсутствии потока воздуха питание сигнализатора осуществляется через концевой выключатель, установленный на стойке шасси, который срабатывает при отрыве самолета от земли.

Принцип действия сигнализатора основан на измерении разности температур подогреваемых передней и задней поверхности цилиндрического профиля датчика.

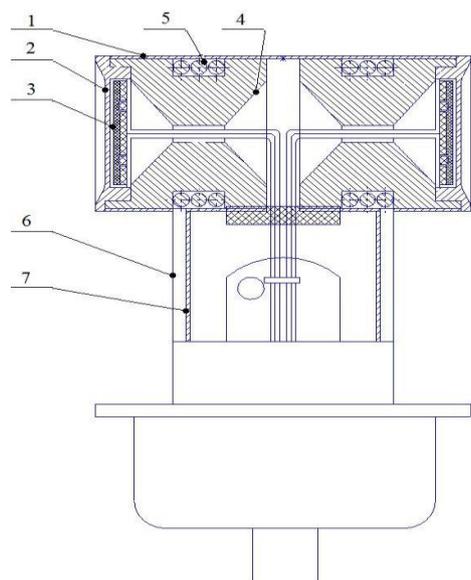


Рис.6 Конструкция датчика ДО-38Т:

- 1 - корпус; 2 - крышка;
3 - термосопротивление; 4 - нагреватель;
5 - медный сердечник; 6 - ножка;
7 - термосопротивление

В потоке «сухого» воздуха передняя и задняя торцевые поверхности датчика охлаждаются примерно одинаково, и разность их температур изменяется в небольших пределах в зависимости от режима полета. Разность температур измеряется с помощью термосопротивлений, установленных в торцевых крышках и включенных в мостовую схему. При попадании самолета в условия обледенения передний торец датчика охлаждается за счет испарения, улавливаемых переохлажденных капель воды, и на выходе мостовой схемы появляется сигнал $U_{\text{вых}}$, пропорциональный разности температур переднего и заднего торцов, которая пропорциональна влажности облаков или интенсивности обледенения.

Конструктивное устройство датчика ДО-38Т приведено на рис. 6. Датчик состоит из цилиндрического корпуса 1, укрепленного на ножке 6 обтекаемой формы, двух торцевых крышек 2 с термосопротивлениями 3, двух нагревателей 4.

На боковых поверхностях ножки расположены термосопротивления 7, измеряющие температуру поверхности, соприкасающейся с обтекающим потоком.

Функциональная схема сигнализатора приведена на рис. 7.



Рис. 7. Функциональная схема сигнализатора обледенения ИСО-16

Выводы по электротермическим сигнализаторам

Преимуществами электротермических сигнализаторов (интенсиметров) являются их быстроедействие, непрерывность процесса измерения интенсивности обледенения, возможность управления потребляемой мощностью, безопасность в эксплуатации.

Недостатками электротермического сигнализатора являются низкая надежность постоянно подогреваемого датчика, большая потребляемая мощность, большая вероятность выдачи ложного сигнала об обледенении при температуре окружающего воздуха 2-3°C, когда обледенения нет, ухудшение чувствительности в области относительно низких температур, выдача сигнала об обледенении в кристаллических облаках, когда обледенение отсутствует.

Подверженность абразивному износу чувствительного элемента (тонкой платиновой проволоки 10-20 мкм).

Засорение чувствительной части датчика пылью, грязью, маслом в условиях эксплуатации, что приводило к ухудшению характеристик сигнализатора.

6. Пневматические сигнализаторы МК-8 фирмы Research Limited (Канада).

Сигнализатор МК-8, представленный на рис. 8, выполнен в виде блока, в который вмонтирован aneroidный переключатель и два датчика (чувствительный и эталонный). Датчики представляют собой полые металлические трубки, в которых имеются по диаметру входные и выход-

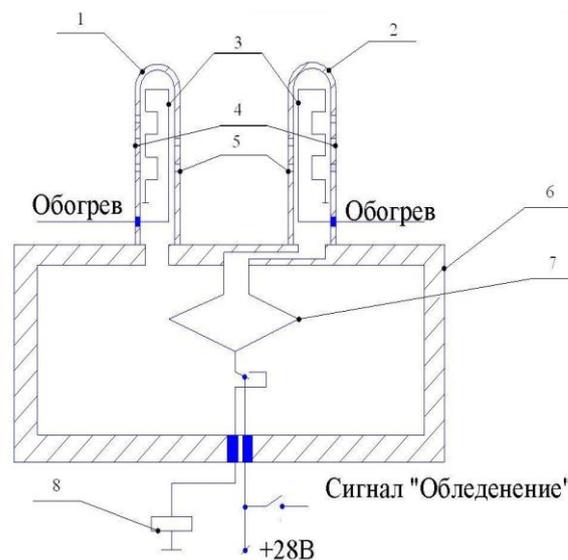


Рис. 8. Конструкция сигнализатора МК-8:

- 1 - эталонный датчик; 2 - чувствительный датчик; 3 - обмотка обогрева;
- 4 - выходные отверстия; 5 - входные отверстия, 6-корпус;
- 7 - aneroidная коробка; 8 - реле

ные отверстия. Эталонный датчик имеет четыре входных и два выходных отверстия, а чувствительный датчик – пять входных и два выходных отверстия. По каналу чувствительного датчика давление передается в anerоидную коробку, а по каналу эталонного датчика – в корпус блока. Так как суммарная площадь сечений входных отверстий больше, чем выходных, в датчиках будет повышенное давление. При обледенении входные отверстия чувствительного датчика замыкаются льдом, вследствие чего в anerоидной коробке давление понижается. В корпусе блока давление будет неизменным, так как в эталонном датчике поддерживается температура выше 0°C.

В результате anerоидная коробка сжимается и включает реле, которое формирует сигнал об обледенении и включает обогрев чувствительного датчика. После сброса льда обогрев выключается, и сигнализатор готов для повторной регистрации обледенения.

С целью исключения образования барьерного льда, который может закрыть выходные отверстия датчика, они имеют V-образный выступ. При обогреве датчиков лед подтаивает и сдвигается к V-образному выступу, с которого он срывается с помощью аэродинамических сил.

Для нормальной работы сигнализатора в условиях образования рогообразного льда внутри чувствительного датчика установлена пластина. Вследствие искривления линий тока воздуха на пластине образуется лед, который закрывает входные отверстия.

Для предотвращения датчиков от перегрева в сигнализаторе предусмотрена защита. Некоторые модификации сигнализаторов имеют задержку на выключение ПОС.

Порог чувствительности сигнализатора обледенения составляет 1мм пленки льда.

Вес датчика сигнализатора – 0,23 кг.

7. Пневматический сигнализатор фирмы Smiths Industries (Англия).

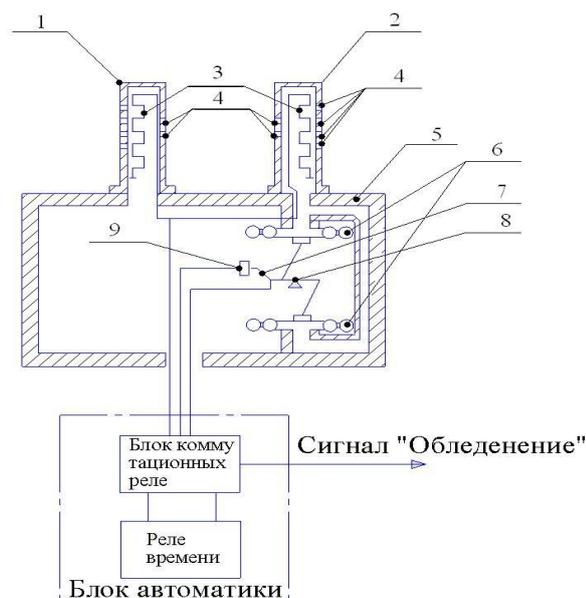


Рис. 9. Конструкция датчика и функциональная схема ДО-206:

1 - приемная трубка; 2 - эталонная трубка; 3 - нагревательные элементы; 4 - отверстия; 5 - корпус; 6 - контактная пластина; 7 - манометрические коробки; 8 - щетка; 9 - кривошипно-шатунный податочный механизм

Сигнализатор ДО-206 состоит:

- 1) из датчика (приемная и эталонная трубки);
- 2) сигнализатора перепада давлений;
- 3) блока автоматики.

Пневматический сигнализатор обледенения фирмы Smiths состоит из приемной головки и реле.

Приемник головки представляет собой обогреваемую трубку с отверстиями на передней и задней кромках. Размеры и положения передних и задних отверстий на приемнике головки находятся в определенной зависимости. Образование льда блокирует передние отверстия головки, что приводит к изменению перепада давлений. Сигналы об изменении перепада поступают в реле, которое состоит из сигнализатора давления и твердотельных временных схем и схем переключения.

Головка соединена с реле трубопроводом. Реле выдает сигнал на индикатор. Затем включается противообледенительная система и обогреватель приемной головки, который освобождает ее ото льда. Обогреватель включен в течение 36 с. Противообледенительная система работает 2-3 мин. Если за это время с приемной головки поступает повторный сигнал, то противообледенительная система остается включенной еще 2-3 мин.

Специальные контакты исключают ошибочные сигналы от вибраций других факторов. При отсутствии льда система находится в пассивном режиме, что удлиняет эффективный срок ее службы.

8. Пневматический сигнализатор ДО-206.

Принцип действия сигнализатора основан на измерении перепада давлений при образовании льда на приемной и эталонной трубках (при закрытии отверстий трубок).

Функциональная схема сигнализатора приведена на рис. 9.

Датчик сигнализатора состоит из приемной 1 и эталонной 2 трубок, внутри которых помещены нагревательные элементы 3. В приемной трубке имеется пять входных и два выходных отверстия 4.

Эталонная трубка имеет одно входное и три выходных отверстия. Обе трубки крепятся к сигнализатору перепада давлений, имеющий корпус 5; чувствительный элемент, состоящий из двух манометрических коробок 7, контактной пластины 6, щетки 8 и кривошипно-шатунного передаточного механизма 9.

Блок автоматики представляет собой блок коммутационных реле и полупроводниковое реле времени, обеспечивающее задержку обогрева трубок датчика на время 2 с.

Принцип действия сигнализатора состоит в следующем:

Приемная и эталонная трубки помещены в потоке. По каналу приемной трубки давление поступает в корпус сигнализатора перепада давления, а по каналу эталонной трубки – в манометрические коробки. Перепад давлений, создаваемый сигнализатором перепада давления, зависит от отношения давления в приемной и эталонной трубках датчика. При открытых входных отверстиях в трубках давление в корпусе сигнализатора перепада давления несколько выше, чем в манометрических коробках. Контакты при этом разомкнуты.

В условиях обледенения входные отверстия приемной и эталонной трубок закрываются льдом, причем отверстия меньшего диаметра приемного датчика закрываются быстрее, чем большие отверстия эталонного датчика. Давление в приемном датчике падает за счет инжекции воздуха из входных отверстий, вызывая изменение перепада давления в сигнализаторе перепада давления. Увеличение давления в манометрических коробках, по сравнению с давлением в полости корпуса, приводит к замыканию контактной пластины. Блок автоматики включает обогрев трубок и выдает сигнал «Обледенение». После освобождения трубок ото льда начинает работать реле времени. Через 2 с блок автоматики выключает обогрев трубок и снимает сигнал «Обледенение».

Выводы по пневматическим сигнализаторам

Преимуществом пневматических сигнализаторов является то, что сигнал об обледенении выдается только в том случае, когда обледенение действительно существует. Пневматические сигнализаторы не реагируют на дождь, снег, кристаллы льда, изменение скорости, высоты наружной температуры. Преимуществом их является также простота конструкции, небольшой вес, возможность выдачи сигнала об обледенении без усилителей и преобразователей. Сигнализаторы работоспособны при клино- и рогообразном обледенении.

Высокие виброустойчивость, теплоустойчивость, небольшие габариты позволяют использовать сигнализаторы в двигателях.

Недостатками пневматического сигнализатора являются:

- низкая надежность постоянно подогреваемого эталонного датчика;
- большая потребляемая мощность;

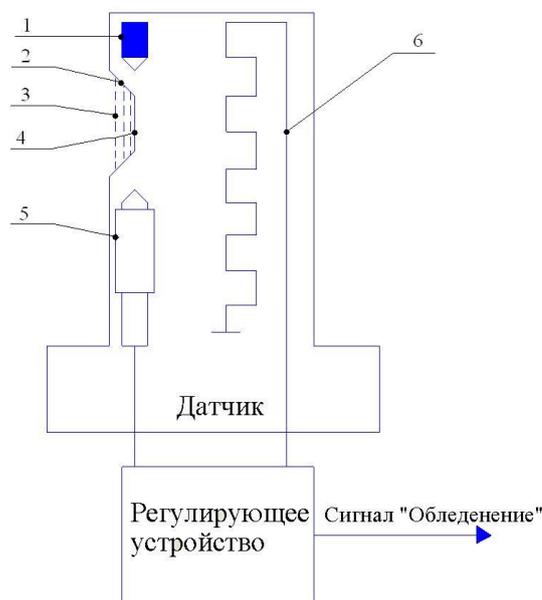


Рис. 10. Конструкция датчика и функциональная схема радиоизотопного сигнализатора фирмы United Control Corporation:

- 1 - источник излучения; 2 - окна для формирования лучей; 3 - излучение β -частиц;
4 - чувствительная поверхность;
5 - трубка Гейнера-Мюллера;
6 - нагревательное устройство

- засорение отверстий датчиков, что ведет к выдаче ложных сигналов.

По имеющейся информации в открытой зарубежной печати, пневматические сигнализаторы усовершенствуются и в настоящее время находят применение в авиации.

Радиоизотопные сигнализаторы фирмы United Control Corporation.

Сигнализатор состоит из датчика и регулирующего устройства. Чувствительным элементом датчика (рис. 10), является радиоактивный стронций 90 (источник излучения), помещенный в капсулу, которая установлена в воздушном потоке. В-частицы, излучаемые стронцием, проходят вдоль чувствительной поверхности, попадают на трубку – счетчик Гейгера - Мюллера. С увеличением толщины льда (начиная с 0.38 мм) показания счетчика начинают изменяться, сигнал об этом подается на усилитель регулирующего устройства, который включает обогрев датчика, ПОС и выдает сигнал об обледенении экипажу самолета.

После сброса льда с датчика сигнализатор готов к повторной регистрации обледенения.

Тепловой переключатель, имеющийся в датчике, защищает систему от перегрева.

Регулирующее устройство состоит из источника питания, импульсного усилителя, реле, синхронизирующего устройства и фильтра радиопомех (все элементы модульной конструкции и объемные).

Внешнее излучение от источника (на расстоянии 400 мм) воздействует на обслуживающий персонал так же, как светящийся циферблат часов.

9. Радиоизотопный сигнализатор РАУС-1(автомат управления ПОС).

Автомат управления ПОС РАУС-1 состоит из электронного блока и датчика, и имеет два варианта исполнения:

- 1) для управления ПОС самолета с высокотемпературным датчиком ДОР-Т1;
- 2) для управления ПОС вертолета (4-, 5-, 6-секционные ПОС) с низкотемпературным датчиком ДОР-Т2.

Принцип действия РАУС-1 основан на ослаблении потока бета-излучения радиоизотопного элемента за счет его частичного поглощения слоем льда, наростшего на чувствительной поверхности экрана штыря датчика, а также на изменении электрического сопротивления термочувствительного элемента датчика от температуры наружного воздуха с дальнейшим преобразованием этого изменения во временной интервал.



Рис. 11. Функциональная схема сигнализатора РАУС-1

Функциональная схема РАУС-1 приведена на рис. 11.

Датчик температуры, основой которого является терморезистор, предназначен для преобразования температуры наружного воздуха в электрическое сопротивление.

Радиоизотопный датчик обледенения предназначен для преобразования толщины льда, выросшего на чувствительной поверхности его штопора, в последовательности статических распределенных по времени импульсов, характеризующихся средней скоростью, частотой следования. При увеличении слоя льда частота импульсов на выходе радиоизотопного датчика уменьшается.

Конструктивное устройство датчика ДОР-Т1 (ДОР-Т2) приведено на рис. 12.

Датчик состоит из корпуса 9 и фланца 5, в который запрессован цилиндрический экран 3. В нерабочем состоянии датчик закрыт защитным кожухом 1. Внутри корпуса 9 крепится держатель 10. В держателе 10 установлен счетчик излучения 2, резисторы 7, 11 и конденсатор 12.

Во фланце 5 установлен терморезистор 6. Цилиндрический экран 3 служит поверхностью, на которой образуется лед. Внутри экрана размещается устройство обогрева 4. В устройстве обогрева имеется прорезь для прохождения β -излучения от источника ионизирующего излучения 2.

Канал сигнализации обледенения предназначен для преобразования импульсов, поступающих с датчика, и выдачи сигнала «Обледенение» при достижении слоя льда, выросшего на чувствительной поверхности датчика, толщины, которая соответствует установленному пороговому значению $0,4 \pm 0,1$ мм, задержки сигнала «Обледенение» на время 115 с после сброса льда с датчика, а также сигнализации об отказе датчика в виде периодической подачи сигнала «Обледенение».

Канал автоматического управления ПОС предназначен для преобразования температуры наружного воздуха (изменения сопротивления терморезистора датчика температуры) во временные интервалы длительностью 30 с или 60 с в зависимости от температуры и сигнализации экипажу о температуре наружного воздуха ниже расчетной, т.е. такой, ниже которой не обеспечивается эффективная работа ПОС. Канал обеспечивает выдачу сигналов на включение секции ПОС вертолета и ПОС самолета.

Масса сигнализатора – 7.6 кг, теплоустойчивость – до 180°C.

Выводы по радиоизотопным сигнализаторам обледенения

Основными преимуществами радиоизотопных сигнализаторов являются бесконтактность определения наличия льда на датчике и наличие сигнала об обледенении только в том случае, когда обледенение действительно существует, малый вес, небольшие габариты, большой срок службы.

Однако, наряду с указанными преимуществами, радиоизотопные сигнализаторы обладают также недостатками:

- низкой чувствительностью в условиях образования рогообразного льда;
- тепло- и виброустойчивостью датчика сигнализатора, недостаточной для использования их в двигателях;
- радиоизотопный датчик создает определенные (психологического характера) трудности в применении и обслуживании.

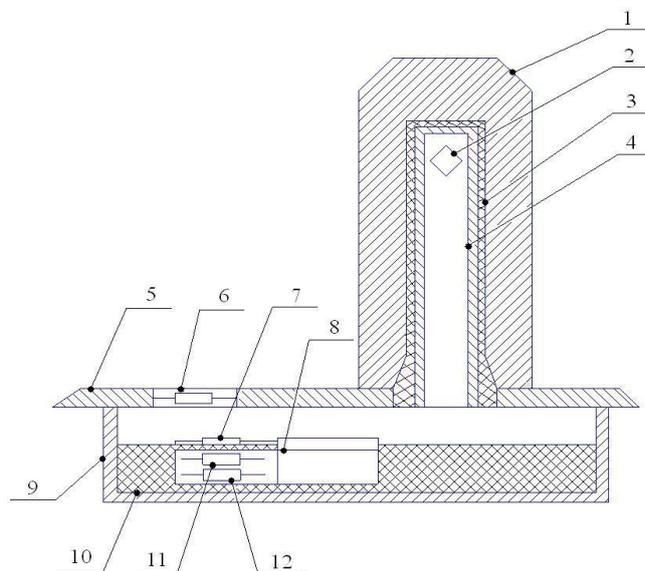


Рис. 12. Конструкция датчика ДОР-Т1(ДОР-Т2):
 1 - защитный кожух; 2 - источник излучения;
 3 - экран; 4 - нагреватель; 5 - фланец;
 6 - терморезистор; 7, 11 - резисторы; 8 - счетчик излучения; 9 - корпус; 10 - держатель;
 12 - конденсатор

Проведенный анализ существующих датчиков сигнализации обледенения позволяет сделать следующие основные выводы.

Преимуществом механических сигнализаторов является то, что сигнал об обледенении выдается только в том случае, когда обледенение действительно существует, а также то, что они не реагируют на дождь, снег, кристаллы льда, изменение скорости, высоты движения и наружной температуры окружающей среды. Достоинство этих сигнализаторов также в том, что они удовлетворительно работают в условиях клино- и рогообразного обледенения.

Механические вибрационные сигнализаторы, принцип работы которых основан на изменении резонансной частоты, малогабаритны, безопасны в эксплуатации, обладают высокой надежностью, вибро- и теплоустойчивостью, что позволяет применять эти сигнализаторы в воздухозаборниках двигателей ЛА.

Механические сигнализаторы скребкового принципа действия вследствие применения перемещающихся деталей имеют несколько худшую надежность.

По имеющейся информации за рубежом совершенствуются конструкции хорошо зарекомендовавших себя механических (вибрационных) сигнализаторов обледенения фирмы Rosemount.

Библиографический список

1. **Тенешев, Р.Х.** Противообледенительные системы летательных аппаратов / Р.Х. Тенешев. – М.: Машиностроение, 1967.
2. **Трунов, О.К.** Обледенение самолетов и средства борьбы с ним / О.К. Трунов. – М.: Машиностроение, 1965.
3. Сигнализаторы обледенения фирмы Rosemount: техническая справка, 1985.
4. Цифровой сигнализатор обледенения фирмы Rosemount. Перевод №946.
5. Анализ отечественных и зарубежных сигнализаторов обледенения: технический отчет. 1979. №19-79.
6. Пат. № 4333004 (США). Обнаружение обледенения, вызываемое погодными условиями. Перевод №1020.

*Дата поступления
в редакцию 25.10.2013*

V.D. Vavilov¹, A.N. Sukonkin²

REVIEW OF DOMESTIC AND FOREIGN ICE DETECTORS

Arzamasskiy polytechnic institute (branch) NGTU n.a. R.E. Alexeev¹
OJSC Arzamas experimental design department Impuls²

The article deals with ice detectors, which provide information about ice conditions, about generation of ice on the aircraft surface. Also the article deals with detector of ice thickness, which determines ice thickness directly on controlled aircraft surface. Ice thickness detectors are exploited to produce the required signals and also detectors are exploited to switch on automatically of anti-icing system. When the aircraft surface are covered by ice. Also the article includes the ice detectors classification of principle of operation. Study of domestic and foreign ice detectors was carried out. According to the article conclusions were drawn. According to these conclusions the ice detectors making advices were given.

Key words: ice detector, anti-icing system, icing, sensor, icing intensity, detector, ice area.