

Н. Лебедев

Борьба с обледенением самолетов

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 656
ББК 39.1
Н11

Н11 **Н. Лебедев**
Борьба с обледенением самолетов / Н. Лебедев – М.: Книга по Требованию, 2013. – 226 с.

ISBN 978-5-458-37404-0

Борьба с обледенением самолетов

ISBN 978-5-458-37404-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От автора	Стр. 6
-----------	-----------

Часть I

Процессы обледенения самолета и методы их изучения

Глава I

Метеорологические условия, способствующие обледенению самолетов, и виды обледенения

Условия обледенения и виды льдообразований по взглядам иностранных авторов .	8
Виды обледенения по Шебанову.	18
Выводы	19

Глава 2

Влияние различных факторов на обледенение самолета

Температура воздуха	22
Годовой ход обледенения	28
Относительная влажность	30
Виды облаков, вызывающих обледенение	31
Высота основания облаков и их толщина	35
Климатические и местные условия	38
Скорость самолета, его конструкция и состояние поверхности	40

Глава 3

Характер обледенения различных частей самолета

Обледенение крыльев и оперения	43
Обледенение винта	45
Обледенение карбюратора	46
Выводы	47

Глава 4

Методы экспериментального изучения процессов обледенения

Наблюдение за обледенением в полете	48
Эксперименты в аэродинамических трубах	55

1*	3
----	---

Экспериментальное изучение процессов обледенения при помощи воздушных змеев, радиозондов, наземных средств передвижения и на высокогорных станциях	69
--	----

Глава 5

Пассивный метод борьбы с обледенением самолета .	73
--	----

Часть II

Активные методы борьбы с обледенением крыльев и оперения самолета

Глава 1

Физико-химические методы

Покрyтия из веществ, уменьшающих смачиваемость поверхности самолета	79
Покрyтия из веществ, понижающих температуру замерзания воды	85
Метод Денлоп	87

Глава 2

Термические методы

Теплоотдача крыла	92
Приспособление для отвода воды с передней кромки крыла	96
Явление нагрева крыла в потоке	98
Электрообогрев	101
Электрообогрев по методу Ридо и Дюкре	103
Опыты Брюна	106
Обогрев крыльев и оперения выхлопными газами.	110
Обогрев горячим воздухом	111
Жидкостная система обогрева	113
Паровая система обогрева	114

Глава 3

Механические методы

Противообледенитель системы Гудрич	115
Другие механические системы . .	137
Результаты испытания противообледенителя Гудрич на лобовое сопротивление	140

Часть III

Борьба с обледенением винтов и карбюраторов

Глава 1

Борьба с обледенением винтов

Методы борьбы с обледенением винтов	143
Жидкостный противообледенитель	147

Г л а в а 2

Борьба с обледенением карбюраторов

Условия обледенения карбюратора	161
Способ защиты карбюраторов от обледенения	166
Борьба с обледенением карбюраторов при помощи антифриза	174

Г л а в а 3

Защита от обледенения стоек, тросов и деталей оборудования самолета

Защита стоек и тросов	177
Защита атмосферных трубок баков	178
Защита трубок Пито и Вентури	180
Защита радиоантенн	185
Защита стекол кабин	186

Приложения

1. Результаты наблюдений за обледенением самолета, классифицированные по виду и толщине образований (по Самуэльсу)
2. Инструкция по применению пассивных методов борьбы с обледенением (составлена по Пиветти)
3. Анкета по обледенению самолета

Б и б л и о г р а ф и я	216
-------------------------	-----

ОТ АВТОРА

Обледенение представляет очень большую опасность для самолета и является серьезной помехой для регулярной работы воздушного транспорта. Между тем явление обледенения еще очень мало изучено, а существующие методы борьбы с ним далеки от совершенства. В области изучения этого явления, а также и в изыскании эффективных мер для борьбы с ним предстоит еще большая работа. Литература по обледенению освещает лишь частично отдельные вопросы и разбросана по разным источникам¹. Автор поставил своей задачей суммировать этот материал и дать краткий критический обзор представлений различных исследователей о природе обледенения и о существующих методах борьбы с ним.

Судя по огромному количеству предложений систем для борьбы с обледенением, которые поступают от многих изобретателей, интерес к вопросу обледенения самолета очень велик. Большинство предложений изобретателей как у нас, так и за границей или повторяет существующие способы защиты самолета от обледенения или выдвигает необоснованные новые идеи, которые на практике не могут быть осуществлены.

Если эта книга поможет конструкторам правильнее подойти к решению поставленной задачи, а летно-техническому составу окажет помощь в их практической работе, автор будет считать свою задачу выполненной.

¹ Ссылки на литературу указаны в тексте в квадратных скобках цифрами, соответствующими порядковому номеру списка, который помещен в конце книги.

ПРОЦЕССЫ ОБЛЕДЕНЕНИЯ САМОЛЕТА И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

Г Л А В А I

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, СПОСОБСТВУЮЩИЕ ОБЛЕДЕНЕНИЮ САМОЛЕТОВ, И ВИДЫ ОБЛЕДЕНЕНИЯ

Обледенением называется образование ледяного нароста на теле при воздействии на него некоторых метеорологических условий. Под обледенением самолета подразумевается образование ледяных наростов на поверхностях различных частей самолета во время его полета. Образование ледяных или снеговых отложений на этих поверхностях во время стоянки самолета на земле под открытым небом называют обмерзанием самолета. В этой книге освещены вопросы обледенения самолета и не рассматриваются вопросы, связанные с его обмерзанием.

Совершенство современных самолетов и аэронавигационного оборудования, при помощи которого самолет можно вести вслепую, а также наличие высококвалифицированного летного состава позволяют выполнять полеты почти при любых метеорологических условиях. Однако возможность обледенения самолета очень часто вынуждает летчика откладывать намеченный полет или вызывает необходимость лететь по кривой, обходя опасный в отношении образования льда район. Это в значительной мере снижает регулярность работы пассажирских воздушных линий.

Вопрос о мерах борьбы с обледенением самолета все же не являлся бы таким важным в настоящий момент, если бы можно было всегда заранее по полученным метеорологическим сводкам определить зоны, в которых это обледенение угрожает.

Условия, при которых происходит обледенение самолета, еще очень мало изучены. Также недостаточно изучены и те различные формы ледяных наростов, которые покрывают части самолета при различной метеорологической обстановке полета. По свидетельству очень многих летчиков, как иностранных, так и наших, обледенение наступило даже в тех случаях, когда по метеорологическим сводкам никак нельзя было этого ожидать, и наоборот, обледенение не происходило тогда, когда возможность его вытекала из сводки.

Можно было бы привести много примеров, когда вследствие начинавшегося обледенения летчики были вынуждены прекращать

полеты и садиться тотчас же в совершенно не оборудованном для посадки месте или в лучшем случае (а это далеко не всегда бывает возможно) «дотягивать» до ближайшей годной для посадки площадки. Если на самолете нет приспособлений для борьбы с обледенением, а метеорологическая обстановка благоприятна для интенсивного льдообразования, быстро выйти из зоны которого не удастся, то в большинстве случаев единственное, что остается сделать летчику, это идти на посадку. Иначе через несколько минут ему все равно придется садиться, но уже на самолете, потерявшем если не в полной мере, то во всяком случае частично свою управляемость.

В инструкциях для летчиков воздушных линий некоторых стран говорится, что в тех случаях, когда метеорологические сводки указывают на возможность обледенения самолета в районе предстоящего полета, последний следует отложить. Если же во время полета началось обледенение самолета и при изменении высоты полета процесс льдообразования не прекратится, необходимо немедленно садиться на первой подходящей для посадки площадке.

В ряде случаев высота, наиболее опасная в смысле возможности обледенения самолета, является в то же время и наиболее выгодной при выполнении летчиком какого-либо задания. Например бомбардировщики, совершая в целях маскировки полет в облаках, могут в известные периоды года легко подвергнуться обледенению. Вероятность обледенения особенно велика при полете в слоистокучевых облаках на высоте 700—1500 м, а между тем такие облака являются хорошей маскировкой для самолета, так как они тянутся иногда на несколько сот километров в длину.

Физические и метеорологические явления и условия, способствующие льдообразованию на самолете, так же как вид и форма ледяного покрова, образующегося при различных метеорологических условиях, до сего времени еще не вполне изучены. Однако это не значит, что нельзя указать, хотя бы приблизительно, те метеорологические условия, при которых наиболее вероятно обледенение самолета, и определить виды ледяной корки, образующейся при этих условиях.

Работы по вопросам устранения опасности обледенения самолета интенсивно ведутся в настоящее время во всех странах в двух направлениях: 1) изучение физико-метеорологических условий, способствующих образованию льда, изучение форм льдообразования на самолете при различных метеорологических условиях и 2) изучение и разработка различных способов борьбы с обледенением самолета.

Работы, проводимые в первом направлении, имеют целью разработку методики составления прогнозов метеорологических условий, вызывающих обледенение.

УСЛОВИЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ И ВИДЫ ЛЬДООБРАЗОВАНИЙ ПО ВЗГЛЯДАМ ИНОСТРАННЫХ АВТОРОВ

Наиболее крупные работы по вопросам обледенения были проведены в США, Англии и Германии.

К сожалению, приходится отметить, что представления авторов этих работ подчас весьма противоречивы и трудно поддаются обобщению.

Американцы первые начали изучать обледенение самолетов. Выразителем американских взглядов на процесс обледенения является Самюэльс (Samuels), собравший и проанализировавший в своей работе [194] наиболее полный в мировой литературе материал, полученный из проведенных в полетах экспериментов. Самюэльс все случаи обледенения делит по виду льдообразования на три вида: 1) чистый прозрачный лед (clear ice), 2) кристаллическое матовое льдообразование, называемое изморозью (rime), и 3) иней (frost) — легкий кристаллической структуры ледяной налет такого типа, какой иногда наблюдается на земле в ранние утренние часы.

Первый вид — чистый лед — образуется в результате замерзания сравнительно больших капель воды и имеет неправильную форму.

Второй вид — изморозь — образуется в тех случаях, когда капли дождя гораздо мельче и сильнее переохлаждены, чем капли, образующие чистый лед; ударяясь о крыло, они мгновенно замерзают и образуют массу молочного цвета. Нарастание ледяной корки в этом втором случае происходит медленнее, чем в первом, благодаря чему само льдообразование приобретает сравнительно обтекаемую форму, далеко не столь опасную для самолета, как форма ледяных наростов первого вида обледенения.

Третий вид обледенения — иней — Самюэльс считает мало опасным для самолета. Ледяная корка этого вида непрочна; при воздействии воздушного потока и особенно от вибраций, даже самых незначительных, она легко отстает от поверхности самолета.

В своей работе Самюэльс приводит обширный статистический материал, относящийся к рассматриваемым видам обледенения (см. приложение 1). Перечисленные им случаи обледенения сведены в табл. 1.

Как видно из этой таблицы, наиболее часто встречающимся видом льдообразования по наблюдениям Самюэльса является изморозь (включая сюда и иней). Число случаев образования чистого льда составляет 28% от общего числа зарегистрированных случаев льдообразования.

Ниже приводится процентное соотношение числа случаев обледенения того или иного вида, вызвавших необходимость прекращения полетов, к общему числу случаев образования льда данного вида. Таблица составлена по данным, приведенным в приложении 1.

Вид льдообразования	Количество полетов, прекращенных вследствие льдообразования	Толщина льда мм
Чистый лед	31	6
»	12	> 6
Изморозь	4	≤ 6
»	0	6

Самюэльс приходит к выводу, что одни температурные условия не определяют видов льдообразования, которые главным образом зависят от состояния элементов облаков. Он считает, что явление обледенения, при котором поверхность передних кромок крыльев и оперения покрывается сплошной коркой чистого льда, происходит при наличии

Таблица 1

Сводная таблица случаев обледенения, наблюдаемых Самюзльсом

Вид льдообразования	Толщина ледяного налета ЛЛМ	Число случаев	Средняя температура, при которой произошло образование льда, °С	Средняя температура за промежуток времени, в течение которого происходило льдообразование, °С	Средняя относительная влажность, при которой произошло льдообразование, %	Изменение относительной влажности за промежуток времени, в течение которого произошло льдообразование, %	Средняя длительность процесса обледенения в минутах	Средняя высота, на которой произошло льдообразование, м	Средняя толщина слоя обледенения, в котором произошло льдообразование, м
Чистый лед	≥ 6	19	-5,8	3,5	92	+ 2 *	7,5	2476	576
	6	19	-5,9	2,4	90	+ 3	3,7	1943	499
	Не известна	5	-3,1	3,8	86	+ 2	8,4	2272	696
		43	-5,5	3,1	90	+ 2	6,3	2245	562
Изморозь	≥ 6	50	-6,3	3,3	92	+ 3	6,6	2151	522
	6	52	-8,6	2,7	89	+ 2	4,8	2482	395
	Не известна	6	-5,2	5,3	93	- 2	13,7	3764	828
		108	-7,3	3,1	91	+ 2	6,1	2399	479
Чистый лед и изморозь, наблюдавшиеся в течение одного и того же полета	Не известна	4	-6,6	4,8	87	+10	9,5	2891	718

в атмосфере падающих в виде дождя крупных капель. При столкновении крупных капель с поверхностью самолета скрытая теплота выделяется медленнее, чем при столкновении мелких капель; поэтому капли большого размера обледеневают сравнительно медленно и образуют очень опасную сплошную корку. Наоборот, мелкие капли быстро кристаллизуются, в результате чего получается хрупкая корка льда.

Другой американский ученый Эдуард Минзер (Edward Minser) в своей работе [161] подразделяет льдообразование на самолете также на три вида: 1) чистый или стекловидный лед (glaze), 2) изморозь (rime) и 3) иней (frost).

По существу «иней» и «изморозь» далеко не всегда различимы между собой; очень часто каждым из этих слов rime и frost обозначают и то и другое.

* (+) обозначает, что процесс льдообразования протекал при нарастающей влажности, а знак (-) — при убывающей влажности.

Для того чтобы внести ясность в понятия слов «изморозь» и «иней», приведем некоторые из существующих в литературе определений этих слов.

В Большой советской энциклопедии дается следующее определение слов «изморозь» и «иней»:

Изморозь — один из видов твердых атмосферных осадков, образующийся в морозные дни при туманной погоде или при сильных морозах, когда в воздухе носятся ледяные иглы. Изморозь оседает главным образом на вертикальных предметах, на ветвях деревьев, на телеграфных столбах, проводах и т. п. Особенно велико образование изморози на горах, что объясняется отчасти тем, что скорость нарастания изморози обратно пропорциональна атмосферному давлению.

Иней — твердый осадок, оседающий в холодные ясные и тихие ночи на поверхности земли и земных предметов. Охлаждение земной поверхности в результате теплового излучения вызывает понижение температуры в соприкасающихся с землей нижних слоях воздуха, которые при известной степени влажности могут дойти до состояния насыщения; продуктом конденсации находящегося в воздухе водяного пара является роса, а при температуре ниже 0° — иней. Иней осаждается преимущественно на шероховатых поверхностях предметов, обладающих малой теплоемкостью и хорошей теплопроводностью (например, травяной покров). По строению частицы инея представляют собой шестиугольные пластинки, звездочки, призмочки или пирамидки и напоминают строение снежинок, отличаясь, однако, от снежинок меньшей геометрической правильностью.

В фундаментальном словаре Вебстера ¹ дается следующее определение слов «rime» и «frost».

«Rime — скопление зернистых образований на наветренной стороне предметов, несколько напоминает разновидность hoarfrost, но образуется только от переохлажденного тумана или облаков. Наросты ориентированы всегда против ветра...»

«Frost — переводится как мороз. Вид обледенения, обозначаемый словом hoarfrost, — серебряный белый осадок ледяных игл, образуемый путем конденсации воды при температуре ниже 0° вследствие излучения телом тепла (ночью). ...Образование hoarfrost имеет место в небольшом количестве в тихие и ясные ночи. Игольчатой структуры льдинки направлены приблизительно перпендикулярно поверхности тела и в наибольшем количестве образуются по кромкам тела. Hoarfrost иногда смешивается с термином rime».

Минзер приходит к выводу, что чистый лед чрезвычайно крепок и трудно разбивается. Он образуется из переохлажденных дождевых капель, сталкивающихся с поверхностью самолета. Когда лед образуется во время дождя, смешанного со снегом, поверхность его становится шероховатой. Во время снегопада толщина ледяного нароста может увеличиваться на 25 мм в минуту. При дожде, состоящем из

¹ Webster's new international dictionary.

сильно переохлажденных дождевых капель, появление такого льда неизбежно.

Изморозь представляет собой белый непрозрачный лед, образующийся вдоль передних кромок и собирающийся в массы неправильной формы с несколько заостренными передними краями. Благодаря зернистому и кристаллическому строению этот ледяной нарост легко отпадает от самолета при вибрациях и толчках. Тем не менее при очень низких температурах прочность этого вида льдообразования увеличивается, а при продолжительном обледенении оно становится опасным.

Иней Минзер определяет как легкое кристаллическое образование, никогда не достигающее значительных размеров и быстро исчезающее, как только температура самого самолета сравняется с температурой окружающего воздуха.

Чистый лед, по его мнению, образуется в облаках, состоящих из масс теплого воздуха, тогда как изморозь образуется обычно в облаках, состоящих из масс холодного воздуха.

Образование различных видов обледенения Минзер объясняет главным образом различной скоростью замерзания водяных капель.

Если атмосфера содержит сильно охлажденные мелкие водяные капли, то каждая из них при столкновении с самолетом замерзнет раньше, чем она встретится с другой каплей; вследствие этого на крыле самолета образуется зернистая непрозрачная масса — изморозь. Если же содержание влаги в облаках очень высоко и выпадают крупные водяные капли, то, сталкиваясь с поверхностью самолета, они охлаждаются медленно и смерзаются в плотную массу. Образующийся в этом случае чистый лед часто распространяется по всему крылу до его задней кромки, где появляются маленькие льдинки, указывающие на медленный темп льдообразования в этом месте.

В Англии большую работу по изысканию мер борьбы с обледенением самолета провел Локспайзер (Lockspeiser). Он подразделяет ледяные отложения на самолете на два вида: 1) чистый прозрачный стекловидный лед и 2) белый непрозрачный зернистого строения ледяной нарост (изморозь).

В результате своих исследований Локспайзер приходит к выводу [158], что самое значительное и самое опасное скопление льда наблюдается на поверхности крыльев. Лед появляется на передней кромке, откуда он распространяется дальше по поверхности крыла. В некоторых случаях возможно покрытие всей поверхности крыла легкой изморозью или прозрачным льдом. Частицы льда могут появляться даже и на задней кромке крыла.

Обледенение, опасное для дальнейшего продолжения полета, по мнению Локспайзера, происходит только при наличии влажности в виде дождя, тумана или облаков.

Сильное отложение льда происходит в тех случаях, когда на самолет, летящий в холодном слое воздуха (обычно 2—3° ниже нуля), падает дождь из более теплого слоя воздуха. В этих условиях на поверхности самолета всегда образуется чистый, твердый и прозрачный лед.