

УДК 625.717.2:519.67

UDC 625.717.2:519.67

20.00.00 Военные науки

Military sciences

ВЫБОР СПОСОБА УДАЛЕНИЯ ГОЛОЛЕДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ С ИСКУССТВЕННЫХ ПОКРЫТИЙ АЭРОДРОМА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

THE CHOICE OF ICE REMOVAL METHODS FROM ARTIFICIAL AERODROME PAVEMENTS ON THE BASIS OF MATHEMATICAL METHODS

Лапшин Александр Павлович
слушатель
sasha-lapshin@yandex.ru

Lapshin Alexander Pavlovich
post graduate student
sasha-lapshin@yandex.ru

Мещеряков Виктор Иванович
к.в.н., профессор Академии военных наук.
SPIN-код = 2537-4904

Meshcheryakov Viktor Ivanovich
Candidate of military sciences, assistant professor of
military science, SPIN-code: 2537-4904

Борисов Юрий Сергеевич
доцент кафедры Академии военных наук

BorISOV Yuri Sergeevich
associate professor of Academy of military sciences.

Юршин Александр Дмитриевич
старший преподаватель кафедры Академии военных наук.
ВУНЦ ВВС ВВА "Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина", Старых Большевиков 54а, г. Воронеж, Россия

Yurshin Alexander Dmytrievych
Lecturer in the Academy of military sciences
Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, str. Starykh Bolshevikov 54a, Voronezh, Russia

В статье рассматриваются основные способы удаления гололедных образований с искусственных покрытий аэродрома. Анализируются природно-климатические факторы, определяющие состояние аэродромных покрытий. Используются результаты зависимости безопасности полетов воздушных судов от состояния аэродромных покрытий. Рассматриваются условия образования различных видов обледенения аэродромных покрытий и затраты мото-часов для проведения работ по удалению гололедных образований с искусственных покрытий аэродрома. Вскрывается проблема практического учета фактора неопределенности в процессах управления различными системами. Рассматривают критерии принятия решения в общей теории принятия решений в условиях неопределенности. Предлагается выбор способа удаления гололедных образований с искусственных покрытий аэродрома на основе математических методов с использованием компьютерной обучающей и контролирующей программы «Оптимальная стратегия при выборе способа подготовки аэродрома», позволяющей эффективно использовать аэродромную технику, продлить амортизационный срок ее службы, обеспечить экономии сил, средств и моторесурсов

The article describes the main methods of ice removal from artificial aerodrome pavements. Natural-climatic factors affecting the aerodrome pavement condition are analyzed and it is shown how flight safety depends on the pavement condition. The article also informs on the factors causing different kinds of ice formation on artificial aerodrome pavements and machine hours needed for their deicing. It touches upon the problem of the uncertainty factor consideration in the management of various systems, and considers decision-making criteria in the general theory of decision-making under conditions of uncertainty. The author offers the choice of deicing methods on the basis of mathematical methods with the use of simulating and checking program called "Optimal strategy in choosing methods of airfield preparation", which helps to use aerodrome equipment more efficiently, prolong its service life, and save efforts, means and machine resources

Ключевые слова: ПОДГОТОВКА АЭРОДРОМОВ К ПРОИЗВОДСТВУ ПОЛЕТОВ, АЭРОДРОМНАЯ СЛУЖБА, СИСТЕМА, ГОЛОЛЕДНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ, ФАКТОР НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ, КРИТЕРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ, РЕШЕНИЕ

Keywords: AERODROME PREPARATION FOR FLIGHT OPERATIONS, AERODROME SERVICE, SYSTEM, ICE FORMATIONS, UNCERTAINTY FACTOR, DECISION-MAKING CRITERIA, DECISION

Doi: 10.21515/1990-4665-129-004

Введение

Современные воздушные суда нового поколения предъявляют высокие требования к эксплуатационному состоянию аэродромных покрытий. В соответствии с требованиями нормативных документов, регламентирующих подготовку аэродромов к производству полетов [1,2], состояние аэродромных покрытий должно обеспечивать постоянную эксплуатационную готовность аэродромов и безопасность полетов. Это достигается проведением комплекса организационно-технических мероприятий, включающего регулярное проведение работ по эксплуатационному содержанию, текущему ремонту и систематическому контролю за состоянием искусственных покрытий взлетно-посадочной полосы (ВПП), рулежных дорожек (РД) и мест стоянок (МС).

Природно-климатические факторы, определяющие состояние аэродромных покрытий

Выполнение задач по содержанию аэродромов в постоянной эксплуатационной готовности следует рассматривать в составе всех его окружающих и сопутствующих объектов или процессов, т.е. как систему.

Эксплуатационное состояние аэродромных покрытий в значительной степени определяется природно-климатическими факторами, наиболее значимыми из которых является климат и его различные метеорологические элементы. Климат – многолетний режим погоды, свойственный той или иной местности, является одной из географических характеристик. С качественной и количественной стороны климатические условия характе-

ризируются метеорологическими элементами погоды. Наиболее важные из них: температура и влажность воздуха, атмосферное давление, температура и влажность грунтовой поверхности и искусственных покрытий, скорость и направление ветра, облачность, атмосферные явления (снегопады, гололед и др.).

Инженерно-аэродромная служба, как орган управления, выполняет функции координации и контроля в области содержания аэродромов в постоянной эксплуатационной готовности для базирования авиационных комплексов, подсистемы выполняют функции в области содержания аэродрома в летнее и зимнее время.

Зимний период эксплуатационного содержания аэродромов является наиболее сложным и ответственным. Уборка снега, снегозадержание, а также удаление и предупреждение образования гололедных отложений требуют большого количества сил и средств, должны выполняться в кратчайшие сроки.

С сезонной эксплуатацией связаны авиационные инциденты, возникающие по причине некачественной подготовки к производству полетов ВПП, РД, МС. До 85% случаев нарушения безопасности полетов имеют место на ИВПП, предназначенной для разбега при взлете и пробега после посадки воздушных судов.

В 15% случаях причиной инцидентов служит некачественная подготовка элементов летного поля к производству полетов в зимний период эксплуатации. Это, прежде всего, наличие на поверхности аэродромных покрытий осадков в виде снега, гололедных образований. Гололедные образования опасны полной потерей сцепных качеств поверхности покрытия. Причем одинаковую опасность для воздушных судов, имеющих высокие посадочные скорости (от 220 до 300 км /ч), представляют, как сплошные, так и локальные (в виде «блюдца») образования льда.

Зависимость безопасности полетов воздушных судов от состояния

аэродромных покрытий определяется также тем, что до 60...70% кинетической энергии воздушного судна погашается при посадке торможением. Следовательно, при отсутствии надежных условий торможения неизбежны потеря устойчивости и управляемости воздушного судна и, как следствие, выкатывание за пределы ВПП или выбрасывание в сторону боковой полосы безопасности. Следствием некачественной подготовки аэродромов могут также являться отмена или переносы полетов, а также осуществление посадки воздушных судов на запасных аэродромах.

Основной задачей всех должностных лиц, связанных с эксплуатацией и содержанием аэродромов, является поддержание их в постоянной готовности к производству полетов и обеспечению их безопасности в различных климатических условиях в любое время года и суток.

Комплекс организационно-технических мероприятий включает регулярное проведение работ по эксплуатационному содержанию аэродрома.

При выполнении задачи по обеспечению взлетно-посадочных операций с учетом максимальной безопасности полетов, необходимо устранить влияние гололедообразования на фрикционные свойства пневматиков воздушных судов с поверхностью искусственного покрытия в момент посадки. Во-первых, это недопущение гололедных образований на поверхности аэродромного покрытия. Во-вторых, это устранение уже образовавшихся гололедных явлений на покрытии с минимально возможными материальными затратами и в кратчайшие сроки. Неоднозначность образования гололеда связана с конструкцией аэродромных одежд, термическим балансом между поверхностью покрытия и приземным слоем воздуха, а также климатическими особенностями местности.

При борьбе с гололедом на аэродромах могут применяться два способа: тепловой и химико-механический [1].

Тепловой способ удаления гололедных образований применяют, как правило, на цементобетонных покрытиях. На асфальтобетонных покрыти-

ях он может применяться лишь в исключительных случаях — при невозможности удаления гололеда другими способами.

Тепловой способ заключается в воздействии на лед высокотемпературного газового потока, создаваемого реактивным авиационным двигателем.

Борьбу с гололедом химико-механическим способом осуществляют или путем плавления сформировавшихся гололедных образований с последующим удалением продуктов взаимодействия реагентов со льдом, или посредством профилактической обработки покрытий химическими реагентами для предупреждения обледенения.

Для борьбы с гололедом на аэродромных покрытиях всех типов применяют антигололедные химические реагенты на основе мочевины (типа АНС и НКММ) и на основе ацетатов калия или магния.

Время подготовки аэродрома, выбор способа, принятие решения на привлечение сил и средств во многом зависит от климатических условий района базирования аэродрома и производственных возможностей аэродромной службы.

Фундаментальной работой в совершенствовании организации зимнего содержания аэродромов гражданской авиации является исследование Лежоева В.Р. [3,4]. В результате исследования приводятся основы разработанной теории зимнего содержания аэродромов, включающие классификацию процессов зимнего содержания. Представлены результаты исследования влияния состояния покрытия на движение самолета и основанные на этом требования к эксплуатационному состоянию покрытий, получены корреляционные зависимости между коэффициентами сцепления, рассчитанными различными методами. Обоснованы, разработаны и реализованы основы для моделирования процессов зимнего содержания аэродромов гражданской авиации.

Для совершенствования мероприятий по зимнему содержанию аэро-

дромных покрытий предложена классификация осадков, в которой все виды обледенения аэродромных покрытий разделены на четыре группы. Их описание приведено в таблице 1. В основу такого разделения положено различие физической сущности происходящих процессов и различие условий, благоприятствующих обледенению, что позволяет выявить возможные случаи гололедообразования на основе анализа метеорологической информации и данных о температуре поверхности искусственного покрытия. В каждой группе можно выделить ведущий вид обледенения - гололедицу, иней, твердый налет, гололед и использовать эти термины при дальнейших исследованиях. Условия образования каждого из видов обледенения изложены в метеорологической и технической литературе, на основе анализа которой составлена таблица 1.

Таблица 1 - Условия образования обледенения аэродромных покрытий

Вид обледенения	Условия образования
Гололедица	Переход температуры воздуха через 0°С к отрицательным значениям и замерзание имеющейся на покрытии влаги. Температура покрытия ниже 0°С. Возможные источники увлажнения покрытия - мокрый снег, дождь, выпадающие при положительной температуре.
Иней	Повышенная влажность воздуха, понижение температуры покрытия ниже 0°С, ниже точки росы в результате радиационного охлаждения, что наиболее вероятно при отсутствии облачности. Состояние покрытия - сухое. Скорость ветра не более 5 м/с. Температура воздуха может изменяться в широких пределах от 7°С до -40°С.
Твердый налет	Выпадение не переохлаждённых осадков при положительных, но близких к нулю температурах воздуха на покрытие с отрицательной температурой. Образование возможно при резком потеплении после длительных морозов. Температура воздуха выше 0° С.
Гололед	Выпадение осадков жидкого или парообразного состояния при слабых морозах. При выпадении дождя температура воздуха выше минус 5° С, мороси или тумана - до минус 10°С. Температура покрытия отрицательна.

Современные покрытия взлетно-посадочных полос аэродромов обладают высокой теплопроводностью емкостью, определяемой теплофизическими свойствами строительных материалов (бетон, сталь и т.д.).

Теплофизические характеристики материалов конструкции аэродромной одежды установившийся в ней температурный режим определяют теплоинерционные свойства поверхности аэродромного покрытия, а ее

температура зависит также от условий теплообмена между атмосферой и покрытием.

Температурный режим приземного слоя воздуха в общем виде может быть представлен изменяющимся по гармоническому закону и описан зависимостью [5]:

$$t_{\text{в}} = t_{\text{ср}} + I_{\text{в}} \sin(\omega t + \epsilon) \quad (1)$$

где: $t_{\text{в}}$ - температура воздуха, °С; $t_{\text{ср}}$ - средняя температура воздуха (среднегодовая, среднемесячная, среднесуточная), °С; $I_{\text{в}}$ - суточная амплитуда колебания температуры воздуха, °С; ω - циклическая частота колебаний температуры; t - текущее время, с.; ϵ - начальная фаза.

Число гармоник, необходимых для описания температуры воздуха, определяется климатическими особенностями в районе аэродрома и устанавливается для конкретной задачи [5].

Анализ опыта организации зимнего содержания аэродромных покрытий показывает, что для успешного решения задачи зимнего содержания аэродромных покрытий необходимо учитывать метеорологические условия образования гололедных отложений на аэродромах, свойства которых и закономерности образования носят случайный характер. Характеристики выпадаемых осадков следует систематически исследовать на каждом аэродроме, что создаст возможность обосновать методы и выбирать средства борьбы с гололедными отложениями. Существующая методика учета и прогнозирования метеорологических условий на аэродроме, отсутствие современных средств, которые позволяют определить и предупредить момент возможного гололедообразования на поверхности аэродромного покрытия не позволяет с достаточной достоверностью создать основу для планирования и организации мероприятий по эксплуатационному содержанию аэродромных покрытий в зимний период.

Поэтому необходимо разработка математического аппарата, чтобы полученные данные эффективно использовались для аэродромной службы для принятия решения при организации зимнего содержания аэродрома.

Исследования района средней полосы России показали, что район лежит в пределах атлантико-континентальной климатической области умеренного пояса. В зимний период он находится под влиянием циклонов, приходящих с запада и юго-запада и под влиянием отрога Сибирского антициклона. Такое состояние погоды часто нарушается вторжением циклонов, несущих сложные, в большинстве своем нелетные метеоусловия (низкая облачность, плохая видимость, метели, гололед, интенсивное облечение в облаках и осадках, резкое увеличение ветра, значительное потепление и обильные осадки) (таблица 2).

Таблица 2 – Количество явлений по дням месяцев года

Явление	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
дождь	8	6	8	12	13	15	13	10	13	14	13	9	134
снег	21	20	14	3	0.2	0	0	0	0.1	3	12	20	93
туман	4	4	4	3	2	2	3	4	5	4	6	5	46
мгла	0.03	1	1	2	0.2	0.2	0.3	1	1	1	1	0.3	9
гроза	0.03	0	0.03	1	4	8	7	4	2	0.3	0	0.1	26
метель	4	4	2	0.03	0	0	0	0	0	0	1	2	13
гололёд	3	2	1	0.2	0	0	0	0	0	0.1	2	3	11
изморозь	0.1	0.03	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.4

Затраты мото-часов для проведения работ по удалению гололедных образований с искусственных покрытий аэродрома просчитаны по существующим методикам [1] и графически представлены на рисунке 1,2.

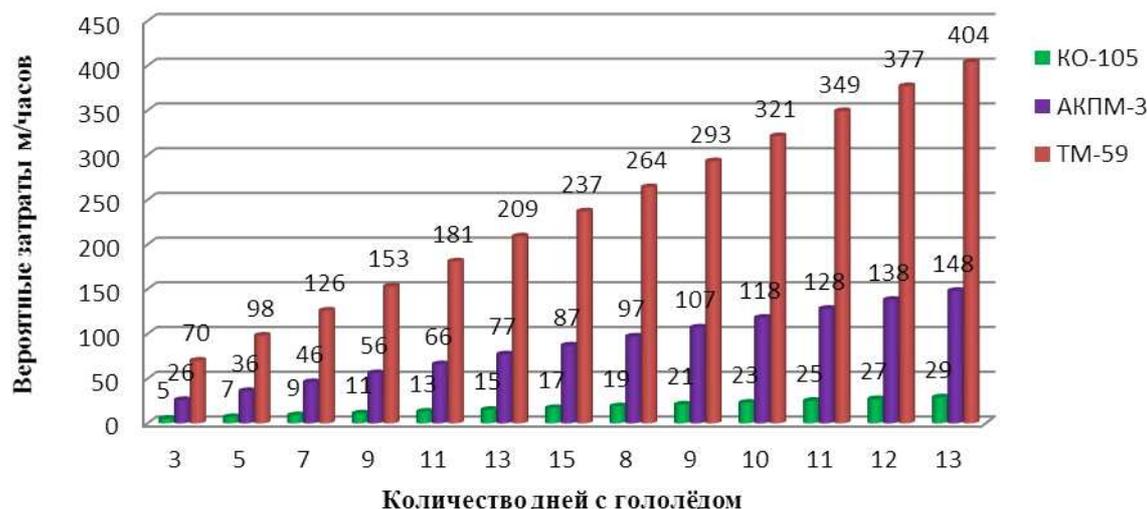


Рисунок 1 – Вероятность затрат машино-часов на борьбу с гололедом при трех оттепелях за зимний период

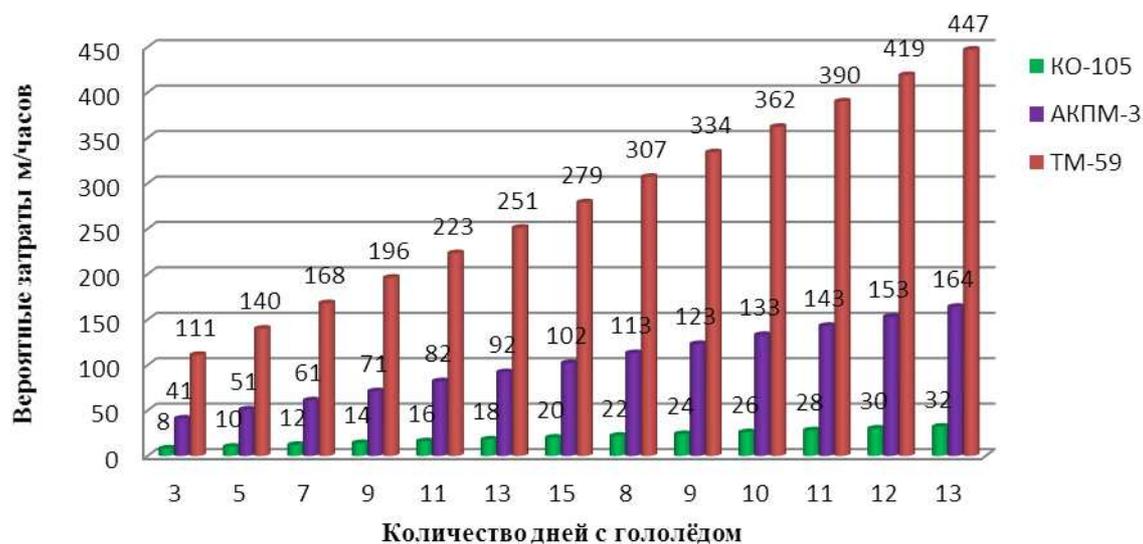


Рисунок 2 – Вероятность затрат машино-часов на борьбу с гололедом при шести оттепелях за зимний период

Анализ гистограммы свидетельствует о том, с увеличением числа дней с гололедом увеличивается число задействованных средств аэродромной техники. Выбор того или иного способа по удалению гололедных образований с искусственных покрытий аэродрома может значительно повысить экономию сил и средств аэродромной службы.

Оптимальная стратегия по выработке оценки эффективности действий инженерно-аэродромной службы

Потребность управления сложными экономическими (производственными) объектами вызвала к жизни специальные методы, облегчающие принятие правильных решений. Основанный на различных математических методах комплекс расчетных задач способен оказать прямое содействие руководству при нахождении ответов на определенную группу вопросов, которые могут возникнуть на всех этапах подготовки аэродрома [6].

Оценка возможных реакций системы на совместное проявление многих факторов, с учетом состояний ее элементов, может производиться путем комбинации критериев ее эффективности.

Характерной особенностью функционирования системы является то, что на нее воздействует много факторов, как внутренних (собственных) параметров системы, так и внешних, в виде: условий внешней среды. В результате воздействия необходимо принять решение на подготовку аэродрома к производству полетов. В качестве условий внешней среды при организации мероприятий по эксплуатационному содержанию аэродромов выступают физико – географические условия, в составе метеорологической информации: метеорологические условия, климатология района базирования аэродрома.

Оптимальная стратегия по выработке оценки эффективности действий инженерно-аэродромной службы должна строиться на научно-обоснованных предложениях. Основой таких положений должна стать методология, которая позволит определить последовательность проведения оценки эффективности действий и интеграции ее состава сил и средств [7].

Прогнозирование поведения системы в будущем является необходимым условием того, что принятые решения по подготовке аэродрома обес-

печивает эффективное функционирование системы в течение заданного времени.

Проблема практического учета фактора неопределенности в процессах управления в современных условиях становится все более актуальной и безотлагательной.

Но очень часто неопределенность связана с недостаточной осведомленностью об условиях, в которых будет проводиться мероприятие (погода в некотором районе и т. д.). Такие условия зависят от объективной действительности, называемой «природой». «Природа» рассматривается как сторона, поведение которой неизвестно, но не содержит элемента сознательного противодействия нашим планам.

Самым простым случаем принятия решения в игре с «природой» является такой, когда имеются дублирующие и доминирующие стратегии. Необходимо отметить, что большую сложность при принятии решений в условиях неопределенности представляет то обстоятельство, что, выбирая один из возможных вариантов действий, лицо, принимающее решение, как правило, не имеет необходимой информации о конкретном состоянии среды (условиях метеорологической информации (обстановки)), т. е. принимающий решение должен выбирать определенное значение, не зная противоположного значения, хотя понятно, что исход действий может в значительной степени зависеть от фактического состояния среды [6].

Перед рассмотрением сути каждого критерия данные, необходимые для принятия решения, задаются в форме таблицы. В терминах теории игр такая таблица называется «матрицей выигрышей» (или «платежной матрицей»), поскольку ее элементы характеризуют эффективность (как бы условный «выигрыш») исходов при выборе определенного варианта действий при нахождении среды (обстановки) в соответствующем состоянии.

Потребности окружающей среды – «природы» влияют на выполнение поставленной задачи исследуемой системы подготовки аэродрома, поэтому необходимо рассмотреть ее возможности по сформированным подцелям.

Задача состоит в определении такой стратегии (чистой или смешанной), которая при ее применении обеспечила бы аэродромной службе наибольший выигрыш при выполнении поставленной задачи удаления гололедных образований с искусственных покрытий аэродрома.

В настоящее время в общей теории принятия решений в условиях неопределенности наиболее часто рассматривают следующие критерии принятия решения: максиминный критерий Вальда, минимаксный критерий Сэвиджа, критерий обобщенного максимума Гурвица, критерий Байеса-Лапласа и др. [6].

По теории статистических решений аэродромная служба принимается в качестве статиста. Для выполнения задач по предназначению определяем объемы работ, которые она должна выполнить, в матрице исходных данных они записываются в столбцах (возможные условия). Варианты различных ситуаций (состояний метеорологической информации (обстановки)) используются в строках матрицы (действия противоборствующей стороны – «природы»).

Для выработки и принятия решения на удаление гололедных образований с искусственных покрытий аэродрома используем группу критериев, которые должны выступать индикатором оптимальности в условиях полной статистической неопределенности:

1. Максиминный критерий Вальда, критерий крайнего пессимизма. По критерию Вальда лицо принимающее решение, выбирают стратегию, гарантирующую максимальное значение наихудшего выигрыша (критерий

максимина), то есть выбирает такую стратегию, которая максимизировала бы выигрыш в самой неблагоприятной ситуации.

2. Критерий Сэвиджа, критерий минимального риска (правило минимакс). Этот критерий в условиях полной неопределенности рекомендует выбирать ту стратегию, при которой величина риска принимает наименьшее значение в самой неблагоприятной ситуации.

Сущность критерия Сэвиджа состоит в том, чтобы любыми путями избежать большого риска. Поэтому данный критерий можно также отнести к критерию крайнего пессимизма. Отличие его от критерия Вальда состоит в том, что худшим здесь считается не минимальный выигрыш, а максимальный риск.

3. Критерий Гурвица (обобщенного максимума) рекомендует рассчитывать на нечто среднее между крайним пессимизмом и крайним оптимизмом.

4. Критерий Байеса-Лапласа предъявляет к ситуации, в которой используется принцип недостаточного основания, когда вероятности ситуаций неизвестны и при отсутствии информации о намерениях «природы» принимаются одинаковыми.

Результаты проведенных расчетов сводятся в таблицу.

Использование рассмотренных критериев лицом, принимающее решение (специалистами аэродромной службы) позволит обеспечить систему поддержки принятия решения на содержание аэродрома в условиях неопределенности (действия противоборствующей стороны – «природы») при удалении гололедных образований с искусственных покрытий аэродрома.

Используя группу критериев, которые должны выступать индикатором оптимальности в условиях неопределенности на примере аэродромной службы, разработан программный продукт, в основу которого легли экономико-математические методы и модели (рисунок 3), с использованием

программы VisualStudio12.0 Express на языке программирования с#, позволяющий наглядно видеть обработанную информацию, полученную в результате выработки решения на удаление гололеда [8].

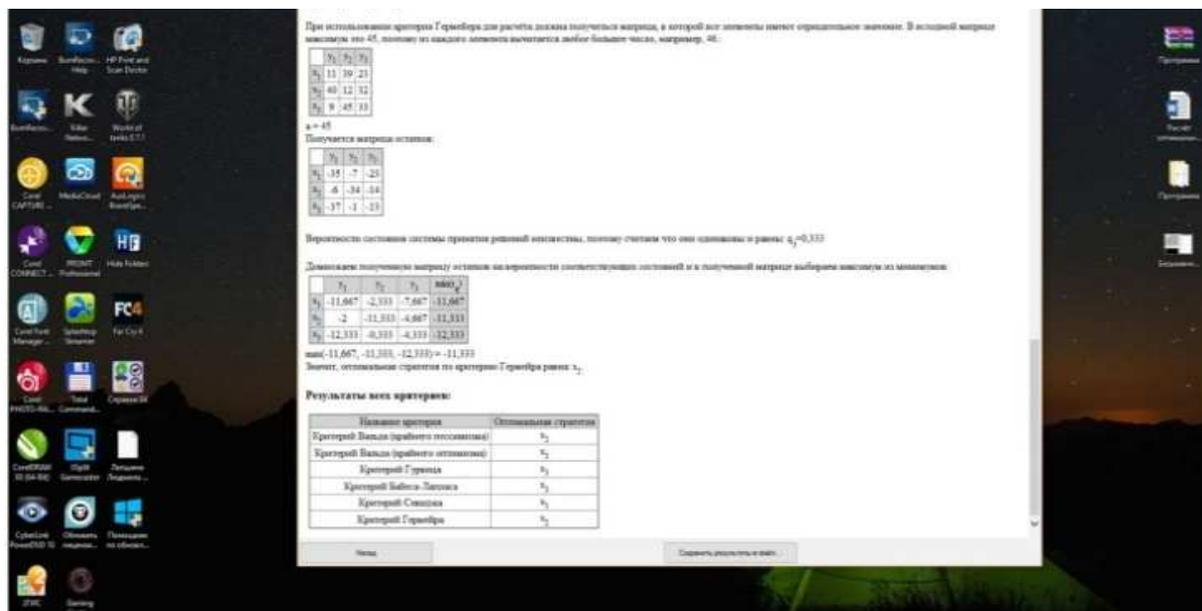


Рисунок 3 – Результат обработанной информации

Заключение

Выбранные критерии оценки эффективности позволяют количественно охарактеризовать уровень выполнения основных задач системы. Использование программного продукта при выборе способа удаления гололедных образований с искусственных покрытий аэродрома позволит эффективно использовать аэродромную технику, продлить амортизационный срок службы, обеспечить экономию сил, средств и моторесурсов.

Список литературы

1. Горецкий Л.И. Эксплуатация аэродромов: Учебник для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1986. - 280 с.
2. Глушков Г.И., Раев-Богословский Б.С. Устройство и эксплуатация аэродромов: Учебник для техникумов трансп. стр-ва. 2-е изд., перераб. и доп. - М: Транспорт, 1977. – 320 с.
3. Лежоев В.Р. Теоретические основы и практические методы зимнего содержания искусственных покрытий аэродромов гражданской авиации: Дис...д- ра техн. наук.

-Л., 1989. - 385 с.

4. Лежоев В.Р., Кнатько В.М. Оценка метода прогнозирования образования гололеда на аэродромных покрытиях. - Труды ГосНИИ ГА, вып. 18, - М. : Гос- НИИГА, 1975, с. 78-94.

5. Кульчицкий В.А., Макагонов В.А., Васильев Н.Б., Чехов А.Н., Романков Н.И. Аэродромные покрытия. Современный взгляд. - М.: Физматлит, 2002. - 528 с.

6. Основы и применение методов прикладной математики в военном деле. Учебник. / Под ред. П. И. Иванова. – Монино.: ВВА им. Ю.А. Гагарина 1991. 512 с.

7. Миняйло В.Л. Методология интеграции систем тылового и технического обеспечения боевых действий группировки авиации и войск ПВО // Военная мысль. 2010. № 12. С. 67-73

8. Компьютерная обучающая и контролирующая программа «Оптимальная стратегия при выборе способа подготовки аэродрома». Зарегистрирована в НИЦ О и ИТ ВУНЦ ВВС «ВВА», регистрационный номер № 1241/1, от 20. 03. 2017 г.

References

1. Goreckij L.I. Jekspluatacija ajerodromov: Uchebnik dlja vuzov. - 2-e izd., pere-rab. i dop. – М.: Transport, 1986. - 280 s.

2. Glushkov G.I., Raev-Bogoslovskij B.S. Ustrojstvo i jekspluatacija ajerodromov: Uchebnik dlja tehnikumov tranp. str-va. 2-e izd. pererab. i dop. - М: Transport, 1977. – 320 s.

3. Lezhoev V.R. Teoreticheskie osnovy i prakticheskie metody zimnego sodержaniya iskusstvennyh pokrytij ajerodromov grazhdanskoj aviacii: Dis...d- ra tehn. nauk. -L., 1989. - 385 s.

4. Lezhoev V.R., Knat'ko V.M. Ocenka metoda prognozirovanija obrazovanija gololeda na ajerodromnyh pokrytijah. - Trudy GosNII GA, vyp. 18, - М. Gos- NIIGA, 1975, s. 78-94.

5. Kul'chickij V.A., Makagonov V.A., Vasil'ev N.B., Chehov A.N., Romankov N.I. Ajerodromnye pokrytija. Sovremennyj vzgljad. - М.: Физматлит, 2002. - 528 s.

6. Osnovy i primenenie metodov prikladnoj matematiki v voennom dele. Uchebnik. / Pod red. P. I. Ivanova. – Monino.: VVA im. Ju.A. Gagarina 1991. 512 s.

7. Minjajlo V.L. Metodologija integracii sistem tylovogo i tehničeskogo obespečenija boevyh dejstvij gruppirovki aviacii i vojsk PVO // Voennaja mysl'. 2010. № 12. S. 67-73

8. Komp'juternaja obuchajushhaja i kontrolirujushhaja programma «Optimal'naja strategija pri vybore sposoba podgotovki ajerodroma». Zaregistrirrovana v NIC O i IT VUNC VVS «VVA», registracionnyj nomer № 1241/1, ot 20. 03. 2017 g.