



УДК 629.7.08
ГРНТИ 78.01.21

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ РАЗРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*О.Н. ФИЛИМОНОВА, доктор технических наук, доцент
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
М.В. ЕНЮТИНА, кандидат технических наук, доцент
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
С.С. НИКУЛИН, доктор технических наук, профессор
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
О.Р. ДОРНЯК, доктор технических наук, доцент
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

Предложена организационно-техническая модель научных исследований специализированной лаборатории с широкими функционалами, работающая в идеальных условиях научно-технологического поиска, для получения экспериментальных результатов и конечной продукции. Приведена методика вероятностной оценки полного цикла разработки, получения и применения композиционных материалов. Указаны специфические особенности формирования такой научно-исследовательской лаборатории на базе «Военно-воздушной академии имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина». Сделаны выводы о целесообразности её создания в интересах Военно-воздушных сил Российской Федерации, которая позволит впервые подойти с системных позиций к формированию композиционных материалов для проведения текущего ремонта и восстановления взлетно-посадочной полосы различной инженерной сложности.

Ключевые слова: композиционные материалы, аэродромное покрытие, организационно-техническая модель, ремонт и восстановление взлетно-посадочной полосы.

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF COMPOSITE MATERIALS DEVELOPMENT TO ENSURE THE EFFECTIVE OPERATION OF MILITARY AERODROME PAVEMENT

*O.N. FILIMONOVA, Doctor of Technical sciences, Associate Professor
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
M.V. ENYUTINA, Candidate of Technical sciences, Associate Professor
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
S.S. NIKULIN, Doctor of Technical sciences, Professor
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
O.R. DORNYAK, Doctor of Technical sciences, Associate Professor
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

The organizational and technical model of scientific research of a specialized laboratory with wide functionality, working in ideal conditions of scientific and technological search, for obtaining experimental results and final products, is proposed. The composite materials development, production and application full cycle probabilistic assessment method is given. Specific features of the formation of such a research laboratory on the basis of the «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» are indicated. Conclusions are made about the feasibility of its creation in the interests of



the Air force of the Russian Federation, which will allow for the first time to approach the formation of composite materials for the runway current repair and restoration of various engineering complexity from a system perspective.

Keywords: composite materials, aerodrome pavement, managerial and engineering model, repair and restoration of the runway.

Введение. Для обеспечения минимального времени взлета и комфортной посадки различных типов самолетов на взлетно-посадочных полосах (ВПП) с искусственным покрытием необходимо качественное аэродромное покрытие, способное функционировать в различных климатических условиях. Нарушение целостности поверхности ВПП, изменение её профиля приводит к появлению нестандартных ситуаций во время взлета или посадки воздушного судна, а наличие дефектов может привести к запрету полетов. Решение этой проблемы связано с созданием и оценкой различных типов новых высококачественных композиционных материалов, применяемых при текущем и капитальном ремонте и строительстве новых аэродромов.

Необходимость разработки материалов нового поколения на базе современных композиционных материалов для осуществления эксплуатационно-ремонтных работ взлетно-посадочных полос в мирное и военное время требует централизованного и системного подхода в организации научных исследований и опытно-технологических процессов, что возможно путем создания специализированной лаборатории с широкими функционалами.

Специфика эксплуатации взлетно-посадочной полосы военного назначения заключается в необходимости проведения оперативно-эксплуатационных мероприятий в военное время [1, 2]. С одной стороны, в отличие от аэродромов гражданского назначения, необходимо разработать парк технических средств, с помощью которых осуществляется ремонт полосы, с другой – необходимо наличие композиционных материалов, обладающих совершенно новыми качественными физико-химическими характеристиками для быстрого нивелирования повреждений [3]. Следует отметить, что характер дефектов аэродромных покрытий военного назначения отличается от дефектов гражданских аэродромов [4]. Для гражданских аэродромов характерно естественное изнашивание ВПП из-за механического воздействия при взлете и посадке воздушных судов, а также воздействие неблагоприятных климатических условий и трещинообразование. Для военных аэродромов повреждения носят характерный вид из-за воздействия боеприпасов противника на поверхность ВПП [5]. В связи с этим, возникают особые требования к композиционным материалам для обеспечения наискорейшего ремонта повреждений, причём физико-химические параметры должны быть таковыми, чтобы за короткий промежуток времени в условиях ведения боевых действий ВПП выполняла свой функционал по взлету и посадке воздушных судов с различной массовой нагрузкой [6].

В зарубежных армиях такая работа проводится интенсивно, при этом технологии изготовления и применения являются ноу-хау и сохраняются в секрете [7]. В Вооруженных силах Российской Федерации (РФ) и, в частности, в Военно-воздушных силах (ВВС) РФ специализированные научные подразделения, занимающиеся аналогичной тематикой, отсутствуют, а разработки новых композиционных материалов осуществляются в гражданских научных центрах без задания Министерства обороны РФ в инициативном порядке. Это нарушает системность формулировки и реализации решения данной проблемы, приводит к расходованию финансово-экономических средств и в итоге такая неорганизованная деятельность имеет низкий коэффициент полезного действия (технология эксплуатации и ремонт осуществляется по нормативным документам, которые были разработаны около полувека назад).

В связи с этим целью данной работы является разработка комплекса мероприятий по созданию, определению наиболее важных функционалов и сроков проектных решений с учетом необходимого и достаточного сегмента контрольно-измерительного оборудования в рамках



системной организации лаборатории композитных материалов, используемых для ремонта и восстановления ВПП аэродромно-техническими службами.

Актуальность. Решение вышеуказанной проблемы следует начать с понимания необходимой и достаточной структуры, позволяющей в сопряженном виде межпредметных связей указать последовательность алгоритмических действий для достижения целей, среди которых основной является синтез композиционных материалов с заданными физико-химическими и эксплуатационными характеристиками, обеспечивающими повышение боеспособности и боеготовности авиационных частей и соединений в военное время (в боевых условиях). Структура такой организационно-технической модели представлена в виде графа на рисунке 1.

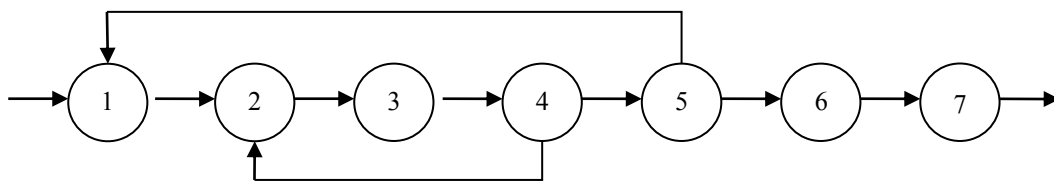


Рисунок 1 – Граф этапов создания композиционных материалов:

- 1 – требуемые характеристики композиционного материала; 2 – техническое задание;
- 3 – разработка композиционного материала; 4 – пилотное испытание композиционного материала;
- 5 – испытания композиционного материала с комплексным измерением показателей;
- 6 – разработка технологии и технических условий; 7 – внедрение и адаптация

Управляющая команда формируется в структуре управления материально-технического обеспечения (МТО) ВВС РФ в виде качественных и количественных требований с предполагаемыми характеристиками перспективного композита (1). На основе этого перечня требований разрабатывается техническое задание с непосредственными исполнителями и представителями МТО ВВС РФ (2). Следующим этапом должно быть проведение научно-исследовательских и опытно-технологических работ по синтезу перспективного композиционного материала (3). В лабораторных условиях образцы синтезированного композиционного материала подлежат пилотному экспериментальному исследованию (4). В случае невозможности достижения требуемых характеристик необходимо вернуться к уточнению технического задания (2). Положительные результаты лабораторных исследований подлежат натурным испытаниям с проведением комплексных измерительных манипуляций (5). Если натурные испытания не показали эффективность перспективного композиционного материала, то осуществляется уточнение требований на физико-химические и эксплуатационные параметры (1). Успешная реализация цикла проектных и технологических этапов должна инициировать последующую разработку технологии изготовления и технических условий на перспективный композиционный материал (6). Заключительным этапом должно являться внедрение и адаптация созданного композиционного материала к полевым всепогодным климатическим условиям (7).

Проведем вероятностную оценку времени разработки композиционного материала с заданными характеристиками, используя классическую схему цепей Маркова с последствием в пространстве непрерывного времени и дискретных состояний на основе уравнений Колмогорова-Чепмена [8]:

$$\frac{dp_1(t)}{dt} = \lambda_{51}p_5(t) - \lambda_{12}p_1(t); \quad (1)$$

$$\frac{dp_2(t)}{dt} = \lambda_{42}p_4(t) + \lambda_{12}p_1(t) - \lambda_{23}p_2(t); \quad (2)$$



$$\frac{dp_3(t)}{dt} = \lambda_{23}p_2(t) - \lambda_{34}p_3(t); \quad (3)$$

$$\frac{dp_4(t)}{dt} = \lambda_{34}p_3(t) - (\lambda_{45} + \lambda_{42})p_4(t); \quad (4)$$

$$\frac{dp_5(t)}{dt} = \lambda_{45}p_4(t) - (\lambda_{51} + \lambda_{56})p_5(t); \quad (5)$$

$$\frac{dp_6(t)}{dt} = \lambda_{56}p_5(t) - \lambda_{67}p_6(t); \quad (6)$$

$$\frac{dp_7(t)}{dt} = \lambda_{67}p_6(t), \quad (7)$$

с начальными условиями

$$p_1(0) = 1, p_2(0) = p_3(0) = p_4(0) = p_5(0) = p_6(0) = p_7(0) = 0 \quad (8)$$

и балансовым соотношением

$$\sum_{i=1}^7 p_i(t) = 1, \quad (9)$$

где t – текущее время, мес.; $p_i(t)$ – вероятность нахождения процесса создания композита в i -ой вершине графа (см. рисунок 1); λ_{ij} – интенсивность перехода процесса из i -ой вершины графа в j -ю.

Интегрирование системы (1)–(9) осуществлялось численно с помощью метода Рунге-Кутты 4-го порядка точности [9].

Если за реперный отсчёт по выполнению работ принять месяц (характерно для научно-исследовательских подразделений Вооруженных сил РФ):

$$\lambda_{51} = \lambda_{12} = \lambda_{42} = \lambda_{23} = \lambda_{34} = \lambda_{45} = \lambda_{42} = \lambda_{56} = \lambda_{67} = 1,$$

то период получения нового композиционного материала займёт порядка 4–5 лет (рисунок 2а).

Оптимизация организационных мероприятий, связанных с формированием требований МТО ВВС РФ и согласования технических заданий ($\lambda_{12}=10$, $\lambda_{23}=10$) приведёт к сокращению этого срока практически в два раза (рисунок 2б). Использование высококвалифицированного состава исследователей существенно сократит время принятия решений по результатам лабораторных исследований и уточнения технических характеристик ($\lambda_{45}=10$), что сделает возможным реализацию цикла «задание – исследование – технология – внедрение» практически за год (рисунок 2в).

Проведенный анализ справедлив для так называемой идеальной ситуации, когда отсутствуют проблемы с необходимым оборудованием и дефицитом научных кадров высшей квалификации.

Реализация организационно-технической модели в условиях научно-исследовательского центра ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» приведена ниже.

В частности, в составе инженерно-аэродромной службы командования Военно-воздушных сил РФ отсутствуют структурные подразделения, способные выполнять научно-



исследовательские работы в интересах Министерства обороны Российской Федерации в рамках государственного оборонного заказа и государственных программ, специализирующиеся на разработках и оценке различных типов новых композиционных материалов, применяемых при текущем восстановлении и капитальном ремонте аэродромных покрытий, а также строительстве новых военных аэродромов.

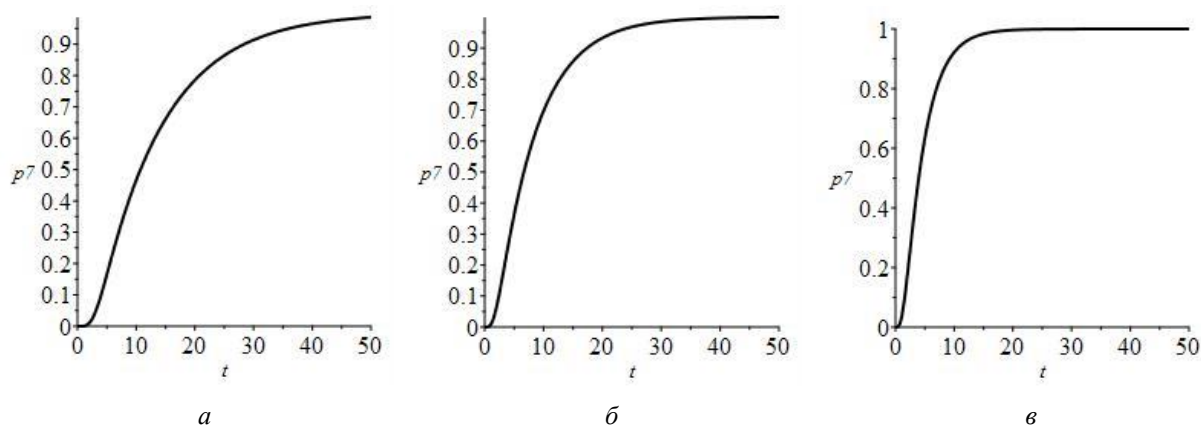


Рисунок 2 – Кинетика процесса создания композиционного материала:
а – стандартные условия выполнения; б – с оптимизацией организационных мероприятий;
в – с использованием высококвалифицированных научно-исследовательских кадров

Инженерно-аэродромная служба командования ВВС Министерства обороны Российской Федерации затрачивает значительные финансовые средства на экспертизу пригодности композиционных материалов к применению при обслуживании, ремонте и строительстве военных аэродромов.

В этих условиях вышеуказанная организационно-техническая модель позволит реализовать следующие цели:

выполнение прикладных научно-исследовательских работ по заданию и тематике Министерства обороны РФ, предприятий военного комплекса, научно-исследовательского центра ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» при создании научно-технической продукции;

разработка методов и научное обоснование модификации композиционных материалов для увеличения срока службы и улучшения физико-химических и эксплуатационных показателей в различных климатических условиях;

проведение пилотных испытаний композиционных материалов (эмали, краски, лаки, грунтовки, герметики, мастики и др.) с целью проверки соответствия качества продукции государственным стандартам и техническим условиям;

экспертиза эксплуатационных свойств различных видов композиционных материалов, используемых в Военно-воздушных силах по заданию Минобороны РФ.

Научно-исследовательские и опытно-технологические работы по синтезу новых перспективных композиционных материалов будут включать следующие виды исследований:

исследование и расшифровка состава лакокрасочных, полимерных и композиционных материалов;

подбор отечественных и зарубежных аналогов по результатам расшифровки состава импортных материалов и их физико-механических свойств;

исследование влияния рецептурных и технологических факторов на физико-механические, реологические и эксплуатационные характеристики композитов военного назначения;



анализ композиционных материалов на соответствие действующей научно-технической документации, в том числе с определением физико-механических, реологических и других свойств.

Для лакокрасочных, полимерных и композиционных материалов предполагается проведение следующих видов испытаний:

сертификационные испытания композиционных материалов по показателям качества на соответствие требованиям нормативно-технической документации;

климатические испытания (на стойкость к воздействию климатических факторов в процессе эксплуатации в реальных условиях и прогнозировании их долговечности);

ускоренные лабораторные испытания композиционных материалов в случае использования новых (на стойкость к старению при воздействии температуры и влажности, установлении характера кинетической зависимости изменения показателя при старении, построении кривой прогноза и определении значения показателя в течение прогнозируемого срока службы);

мониторинг степени разрушения аэродромных покрытий с получением сканированных изображений и оценки изменения состояния покрытия во времени;

прогнозирование долговечности и работоспособности композиционных материалов и покрытий в условиях эксплуатации.

Следовательно, для обеспечения научно-исследовательских, опытно-технологических и экспертных работ по созданию новых перспективных композиционных материалов необходимы:

наличие современного лабораторного комплекса, позволяющего получить достоверные экспериментальные результаты для дальнейшей интерпретации;

наличие высококвалифицированных кадров, способных к проведению научно-исследовательских работ заявленных направлений;

наличие площадки для опытно-промышленного испытания;

наличие промышленных предприятий, которые могут поставлять или производить необходимые ингредиенты для модификации и создания новых композиционных материалов.

Организационно-штатная структура и имеющийся высококвалифицированный кадровый потенциал научно-исследовательского центра ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», сотрудники которого имеют ученые степени по различным научным специальностям: 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов; 05.23.11 – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей; 02.00.13 – Нефтехимия; 02.01.00 – Аналитическая химия; 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, позволят осуществлять комплекс научных исследований и в кратчайшие сроки реализовать результаты научно-исследовательских работ.

Для практических испытаний и полевых экспериментальных исследований может быть задействован находящийся в городе Воронеж аэродром государственной авиации военного назначения «Балтимор», что позволит сократить время на внедрение новых перспективных композиционных материалов в практику.

Научно-исследовательская лаборатория должна иметь помимо стандартного, имеющегося в ней оборудования и оснащения, помещение с приточно-вытяжной вентиляцией, трехфазной линией электроэнергии на 380 В, канализацией, водой, аналитическим и вспомогательным общелабораторным оборудованием, мебелью (шкафы вытяжные и лабораторные, столы специализированные и т.д.), химической лабораторной посудой и расходными материалами, химическими реактивами и стандартами, а также укомплектованное необходимым перечнем оборудования научно-исследовательского и измерительного профиля.

К задачам, решаемым в процессе функционирования лабораторно-экспериментального комплекса исследований строительных материалов можно отнести:



разработку научных основ и методов модификации композиционных материалов (герметиков, мастик, лакокрасочных материалов, бетонных и асфальтобетонных материалов и др.), применяемых для военных целей, с целью увеличения срока службы и улучшения физико-механических и эксплуатационных показателей композитов в различных климатических условиях;

исследование влияния рецептурных и технологических факторов на физико-механические, реологические и эксплуатационные характеристики композитов военного назначения;

проведение стендовых испытаний модифицированных композиционных материалов;

изучение физико-механических и эксплуатационных свойств композиционных материалов, приобретаемых по заданию Министерства обороны РФ (устойчивости к динамическим нагрузкам, стойкости покрытий на изгиб, ускоренных климатических испытаний, твердости герметиков, мастик, систем защитных покрытий и др.);

определение результатов воздействия солнечной радиации на электронное оборудование военного назначения в соответствии с ГОСТ РВ 20.57.416–98;

определение долговечности изоляционных материалов, применяемых для военных целей (методом ускоренного старения);

мониторинг степени разрушения аэродромных покрытий с получением сканированных изображений и оценки изменения состояния покрытия во времени;

расширение тематики научной деятельности с привлечением операторов научной роты и курсантов, выполняющих научно-исследовательские работы на базе ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»;

развитие научных исследований при выполнении диссертационных работ адъюнктами и соискателями.

Выводы. На основе синтезированной стохастической математической организационно-технической модели в рамках подхода Колмогорова-Чепмена для описания вероятностных процессов представлена детализация функционалов лаборатории композиционных материалов с временными реперными взаимодействиями составляющих проекта в виде открытого графа с обратными связями. Вычислительный эксперимент при допущении идеальности информационно-материальных потоков в предложенной модели показал, что данная модель вполне корректна описывает деятельность лаборатории при выполнении порученных ей задач.

Формирование специализированной научно-исследовательской лаборатории с широкими функционалами в системе Военно-воздушных сил Российской Федерации позволит создавать композиционные материалы с заданными характеристиками, при этом высокий уровень научных исследований будет способствовать оперативному реагированию на изменяющиеся требования потребительских свойств применяемых материалов, не уступающих импортным аналогам и даже их превосходящих.

Приведенные индикаторы организационно-технических и кадровых мероприятий создадут условия для проведения уникальных исследований новых перспективных технологий и материалов.

Получение аккредитации лаборатории Госстандартом России на техническую компетентность даст возможность осуществления независимой экспертизы по отбору лучших образцов композиционных материалов в интересах Военно-воздушных сил Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РЭА-93. Руководство по эксплуатации аэродромов авиации Вооруженных Сил РФ. М.: Воениздат, 1995. 45 с.



2. Методика оценки эксплуатационной пригодности покрытий аэродромов ВВС. М.: Издательство МО РФ, 2007. 36 с.
3. Скляр А.Н. Анализ характера силовой нагрузки воздушных судов при совершении взлетно-посадочных операций и его учет при эксплуатации аэродромных покрытий // Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. № 2 (8). С. 104–108.
4. Об утверждении нормативных методических документов, регулирующих функционирование и эксплуатацию аэродромов экспериментальной авиации. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 30 декабря 2009 г. № 1215.
5. Пособие по обследованию элементов летных полей аэродромов авиации Вооруженных сил РФ. М.: МО РФ, 2002. 64 с.
6. Попов А.Н., Шашков И.Г. Методика оценки технического состояния жестких аэродромных покрытий с позиции теории риска // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2011. № 2. С. 90–101.
7. Kanazawa H., Su K., Noguchi T., Hachiya Y., Nakano M. Evaluation of airport runway pavement based on pilots subjective judgement // International journal of pavement engineering. 2010. No. 11 (3). P. 189–195.
8. Венцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и её инженерные приложения: Учебное пособие. М.: КНОРУС, 2016. 448 с.
9. Зарипов Р.С. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения. СПб.: Лань П, 2016. 400 с.

REFERENCES

1. R`EA-93. Rukovodstvo po `ekspluatacii a`erodromov aviacii Vooruzhennyh Sil RF. M.: Voenizdat, 1995. 45 p.
2. Metodika ocenki `ekspluatacionnoj prigodnosti pokrytij a`erodromov VVS. M.: Izdatel'stvo MO RF, 2007. 36 p.
3. Sklyarov A.N. Analiz haraktera silovoj nagruzki vozdušnyh sudov pri sovershenii vzletno-posadochnyh operacij i ego uchet pri `ekspluatacii a`erodromnyh pokrytij // Sovremennye tendencii razvitiya nauki i tehnologij. 2015. № 2 (8). pp. 104–108.
4. «Ob utverzhdanii normativnyh metodicheskikh dokumentov, reguliruyuschih funkcionirovanie i `ekspluaciyu a`erodromov `eksperimental'noj aviacii» Prikaz Ministerstva promyshlennosti i torgovli RF ot 30 dekabrya 2009 g. № 1215.
5. Posobie po obsledovaniyu `elementov letnyh polej a`erodromov aviacii Vooruzhennyh sil RF. M.: MO RF, 2002. 64 p.
6. Popov A.N., Shashkov I.G. Metodika ocenki tehničeskogo sostoyaniya zhestkih a`erodromnyh pokrytij s pozicii teorii riska // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. 2011. № 2. pp. 90–101.
7. Kanazawa H., Su K., Noguchi T., Hachiya Y., Nakano M. Evaluation of airport runway pavement based on pilots subjective judgement // International journal of pavement engineering. 2010. No. 11 (3). pp. 189–195.
8. Vencel' E.S., Ovcharov L.A. Teoriya sluchajnyh processov i ee inženernye prilozheniya: Uchebnoe posobie. M.: KNORUS, 2016. 448 p.
9. Zaripov R.S. Chislennye metody analiza. Priblizhenie funkcij, differencial'nye i integral'nye uravneniya. SPb.: Lan' P, 2016. 400 p.

© Филимонова О.Н., Енютина М.В., Никулин С.С., Дорняк О.Р., 2020

Филимонова Ольга Николаевна, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил),



Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, olga270757@gambler.ru.

Енютина Марина Викторовна, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, maryena63@mail.ru.

Никулин Сергей Саввович, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, nikulin_sergey48@mail.ru.

Дорняк Ольга Роальдовна, доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, ordorn yak@mail.ru.