



УДК 691.32;691.328  
ГРНТИ 05.23.05

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ И АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИХ УПРОЧНЕНИЯ

*О.Н. ФИЛИМОНОВА, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

*М.В. ЕНЮТИНА, кандидат технических наук, старший научный сотрудник  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

*С.С. НИКУЛИН, доктор технических наук, старший научный сотрудник  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

*Л.Н. КОСТЫЛЕВА, кандидат географических наук, старший научный сотрудник  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В статье проведен анализ материалов и технологии строительства и реконструкции аэродромных покрытий, их достоинства и недостатки, рассмотрены вопросы повышения долговечности бетона монолитных и сборных покрытий аэродромов, перспективных материалов, которые с успехом могут применяться для ремонта аэродромных покрытий, как на аэродромах военной, так и гражданской авиации.

*Ключевые слова:* аэродромные покрытия; дефекты; материалы; упрочнение; перспективные направления.

## AIRFIELD COVERINGS STATUS EVALUATION AND MATERIALS ANALYSIS FOR THEIR HARDENING

*O.N. FILIMONOVA, Doctor of Technical Sciences, Leading Research Officer  
MESC AF "N.E.Zhukovsky and Y.A.Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)*

*M.B. ENJUTINA, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Officer  
MESC AF "N.E.Zhukovsky and Y.A.Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)*

*S.S. NIKULIN, Doctor of Technical Sciences*

*MESC AF "N.E.Zhukovsky and Y.A.Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)*

*L.N. KOSTYLEVA, Candidate of Geographical Sciences*

*MESC AF "N.E.Zhukovsky and Y.A.Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)*

The article reveals the materials and technology analysis of airfield coverings advantages and flaws construction and reconstruction. The problems of concrete durability improving of monolithic and precast airfield covering are considered as well as advanced materials which can be successfully used for airfield covering repair in military and civil aviation airfields.

*Keywords:* airfield coverings, flaws; materials, hardening; advanced trends.

**Введение.** Строительство аэродромов – это сложный технологический процесс, требующий применения высокопрочных современных материалов и новых технологий армирования почвы.

«В настоящее время Воздушно-космическими силами используются 125 аэродромов. Из них 80 % требуют капитального ремонта или реконструкции» – сказал министр обороны России Сергей Шойгу на селекторном совещании в Национальном центре управления обороной России. В связи с этим, до 2020 г. в интересах Военно-воздушных



сил (ВВС) РФ планируется провести полную реконструкцию существующей аэродромной сети в местах базирования военной авиации (базовых аэродромов, аэродромов, обеспечивающих испытания авиационной техники и площадки для армейской авиации).

С 2012 г. началось строительство новых искусственных покрытий взлетно-посадочных полос, зданий и сооружений, обеспечивающих руководство полетами на базовых аэродромах в Краснодарском крае, Саратовской и Астраханской областях, а также в Калининграде. Данные аэродромы будут способны принимать все типы воздушных судов, находящихся на вооружении ВВС и имеющиеся в авиапарке гражданской авиации России [1].

Основным документом, регламентирующим требуемые свойства покрытия аэродрома, является СНиП 32-03-96 – официальный стандарт норм строительства и проектирования аэродромов, вертолётных площадок и других объектов для размещения воздушных судов, где подробно описывается, каким именно должен быть аэродром и каким критериям он должен соответствовать. Данные требования различаются по регионам, особенностям грунта, температурному режиму и назначению аэродрома.

Покрытия аэродрома постоянно испытывают значительные нагрузки. В отличие от автодорог, которые воспринимают лишь нагрузку от массы проезжающих автомобилей, аэродромное покрытие должно справляться с динамическими нагрузками от взлетающих и приземляющихся аппаратов, постоянно испытывать термические и механические нагрузки от газо-воздушных струй авиадвигателей, быть устойчивым к воздействию химических препаратов, предотвращающих обледенение, выдерживать длительную статическую нагрузку в процессе стоянки многотонных воздушных судов.

**Актуальность.** Проблема ремонта и восстановления аэродромов оказалась особенно актуальной в связи с обновлением авиационного парка Воздушно-космических сил России, появлением тяжелых и сверхтяжелых воздушных судов, в результате чего увеличились нагрузки на покрытия аэродромов. Современные аэродромные покрытия должны обладать высокими эксплуатационными характеристиками и в то же время быть довольно экономичными [2].

Как показывает практика эксплуатации аэродромных покрытий, срок их службы меньше нормативного, они начинают разрушаться через 2-3 года после ввода в эксплуатацию [3]. Причинами снижения долговечности покрытий являются: неверный учет природно-климатических факторов, грунтово-геологических и мерзлотных условий строительства; ошибки при разработке аэродромной конструкции и её расчете; нарушение технологии строительства аэродромных покрытий; неправильная эксплуатация покрытий и т.д.

В процессе эксплуатации, возникающие дефекты аэродромных покрытий можно классифицировать как:

- шелушение поверхности из-за циклов замораживания/оттаивания и механических нагрузок;
- выбоины и раковины из-за динамических нагрузок;
- трещины из-за воздействия сульфатов или щелочно-силикатной реакции;
- эрозия поверхности в жарких климатах в условиях песков;
- отслоение верхнего слоя покрытия и усадочные трещины из-за бетонирования при высоких температурах и неправильного ухода. Такие трещины имеют свойства постепенно увеличиваться в глубину и длину и часто разветвляются в разных направлениях;
- отслоение верхнего слоя покрытия из-за воздействия на него размораживающих составов и солей;
- сколы кромок плит и разрушение швов из-за циклов замораживания/оттаивания и механических нагрузок, воздействия топливных или масляных химикатов;



- разрушение плит в результате силовых нагрузок, уступы в швах и трещинах из-за поднятий плит;

- просадки и проломы плит из-за потери несущей способности основания или грунта, а также оголение арматуры из-за разрушения защитного слоя бетона;

- разрушение заполнителя швов из-за его низкой температурной устойчивости.

Если деформации аэродромных покрытий значительны, ремонтировать покрытия уже нецелесообразно, нужна реконструкция существующих покрытий, как из асфальтобетона, так и фибробетона [4].

Покрытия на аэродромах высокой категории строят из цементобетона. Они являются наиболее долговечным видом покрытий. В России проектный срок службы цементобетонных покрытий составляет 20-25 лет (за рубежом – 40-50 лет), асфальтобетонных 10-15 лет. Однако реальный, фактический межремонтный срок службы асфальтобетонных покрытий, по ряду объективных и субъективных причин, намного ниже проектного (составляет по данным Росавтодора, в среднем, 3-5 лет или даже меньше).

Анализ отечественного и зарубежного опыта эксплуатации таких покрытий и длительные наблюдения СоюздорНИИ показывает, что основными их недостатками являются разрушение деформационных швов, разрушение и отслаивание поверхностного слоя бетона («шелушение»), образование большого количества трещин. Шелушение в значительной мере определяется наличием температурных швов, вокруг которых наиболее быстро и интенсивно разрушается поверхностный слой. В зоне поперечных швов, как правило, возрастает динамическое воздействие колеса: кромки плит и прилегающая к ним поверхность покрытия воспринимают дополнительные нагрузки. В силу этих и других факторов поперечные швы вызывают снижение прочности поверхностного слоя бетона [5]. Наиболее перспективным в настоящее время является дорожный цементный бетон с прочностью на растяжение при изгибе, его расчётной характеристикой, соответствующей по величине классу не ниже  $B_{тб}4,8$  (марок не ниже  $R_{тб}60$ ). Эта величина прочности бетона определяет высокую несущую способность покрытий, их выносливость и трещиностойкость. Такая прочность обеспечивается за счёт снижения водоцементного отношения до величин 0,28-0,38 и использования комплексных химических добавок (воздухововлекающих добавок и суперпластификаторов) и соответствует классам не ниже В35 (маркам не ниже М450), что, в свою очередь, определяет высокую износостойкость цементобетонного покрытия, стойкость против скалывания на кромках плит и к истиранию, ударную стойкость, готовность покрытия к нарезке деформационных швов в установленные технологическими правилами сроки и др. Такие бетоны по современной зарубежной классификации относятся к бетонам с высокими эксплуатационными характеристиками (High Performance Concrete – НРС).

Следует особое внимание обратить на требование к содержанию вовлечённого воздуха в бетонной смеси для высокоморозостойкого бетона покрытий аэродромов. Нормируемый объём вовлечённого и диспергированного (до размера пузырьков не более 200-300 мкм) с помощью воздухововлекающих добавок (типа СНВ) воздуха в бетонной смеси необходим именно для обеспечения высокой морозостойкости бетона в присутствии хлористых солей-антиобледенителей. Пузырьки вовлечённого воздуха одновременно ослабляют структуру бетона и снижают его прочность. По данным [6], увеличение объёма вовлечённого в бетонную смесь воздуха на 1 % приводит к снижению прочности бетона на растяжение при изгибе, в среднем, на 2,5 %, а на сжатие – на 6 %. Соответственно, при обеспечении нормированного воздухововлечения (5 % в бетонной смеси для бетона покрытий по ГОСТ 26633-91), прочность бетона на сжатие уменьшится на 30 % по сравнению с бетоном без вовлечённого воздуха. Особый марочный бетон, относящийся к классу тяжелых бетонов применялся на аэродроме Североморск-1 при устройстве оснований и покрытий. Он представляет собой состав низкой подвижности П1, с



осадкой конуса 1-4 см, с водоцементным отношением (в/ц) 0,32-0,34 и объемным весом более 2400 кг/м<sup>3</sup>. Смесь характеризуется низкой водопотребностью, высокой прочностью и долговечностью. Главный ее показатель – прочность на растяжение при изгибе, содержание вовлеченного воздуха в пределах 5-7 %.

Необходимость поддержания высокого уровня безопасности полетов диктует ужесточение требований к эксплуатационно-техническому содержанию аэродромных покрытий. Распространенным дефектом покрытий, снижающим уровень безопасности полетов, является разгерметизация швов аэродромных покрытий. Попытки решить эту проблему привели к разработке ряда решений по конфигурации плит аэродромных покрытий и способов их герметизации [7, 8-10]. Устранение указанных дефектов возможно применением непрерывно армированных цементобетонных покрытий. Длина плит при этом определяется содержанием арматуры. Повышение содержания арматуры (до 8-12 кг/м<sup>2</sup>) позволяет увеличивать длину плиты до 200-400 м и более и переходить к устройству бесшовных, так называемых непрерывно армированных конструкций, применение которых кардинально решает вопрос повышения эксплуатационных качеств и долговечности цементобетонных покрытий [11].

Одним из вариантов армирования бетона является применение сталефибробетона, высокие технические характеристики которого (прочность, трещиностойкость, сопротивление пульсирующим и ударным нагрузкам) приводит к увеличению срока безремонтной службы взлетных полос почти в 10 раз [12]. Покрытие из бетона, армированного стальными фибрами, было возведено на главной рулежной дорожке в аэропорту Седар-Рапидс (шт. Айова). Покрытие на участке площадью 23×27 м имело толщину 51-102 мм. Для армирования бетона использовались стальные фибры из проволоки двух размеров 0,41×25,4 и 0,63×63,5 мм. Следующий крупный эксперимент был проведен в 1974 г на взлетно-посадочной полосе Международного аэропорта Кеннеди в Нью-Йорке и одновременно на участке рулежной дорожки. Бетон имел следующий состав: 446 кг цемента и 105 кг фибр из стальной проволоки размерами 0,63×63,5мм на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси. Отмечено [13], что покрытия показали себя с самой лучшей стороны.

На стоянке самолетов в аэропорту г. Франкфурт (ФРГ) с появлением крупных и тяжелых самолетов с массой при готовности к старту до 352 т и соответственно более мощных и тяжелых тягачей с массой до 75 т в покрытиях применялся сталефибробетон с использованием фибр “Харэкс” в количестве 60 кг/м<sup>3</sup> бетона. Применение стальных фибр обеспечило повышение прочности и трещиностойкости бетона, а также устранило причины появления дефектов в зонах швов (в краевых зонах), в которых наблюдалось наиболее активное возникновение повреждений. Прочность сталефибробетона на сжатие в возрасте 28 суток составляла 53 Н/мм<sup>2</sup>, на растяжение при изгибе – 6,61 Н/мм<sup>2</sup>.

Аэродромные покрытия рассчитаны на высокие нагрузки от воздействия воздушных судов. В этой связи особое внимание уделяется качеству и составу бетонной смеси, которая должна оптимально соответствовать эксплуатационным требованиям. СНиП 32.03-96 рекомендует для строительства аэродромных покрытий применять цементобетоны с пределом прочности 6,0; 6,5; 7,0; и 7,5 МПа. Введение активной добавки оксида алюминия с размерами частиц 10-100 нм повышает прочность и водостойкость покрытия [14]. Повышение трещиностойкости покрытий предполагается введением пористого минерального заполнителя [15], фосфогипса и известнякового минерального порошка [16]. Получение бетонов повышенной прочности возможно при использовании золы гидродаления ТЭС, включающей оксиды кремния, алюминия, железа, титана, магния, кальция, калия, натрия [17], ультрадисперсного вяжущего материала из минерального сырья – опоки, диатомитов, трепела, радиоаритов, спонголитов, цеолитов, опоковидных песчаников, мергелей, мергелистых глин, бентонитов, стекла, шлаков, золы-уноса, ультрадисперсного микрокремнезема, промышленных пылей, золы шелухи риса [18]. Улучшить показатель





сохраняемости подвижности бетонной смеси, плотности бетона и ускорить набор прочности в проектном возрасте позволяет комплексная добавка из смеси балластных солей сероочистки коксового газа на основе тиосульфата и роданида натрия и продукта нейтрализации кубовых остатков производства акриловой кислоты [19].

Технология укладки бетона имеет свои особенности. Процесс подачи бетонной смеси под бетоноукладчик осуществляется без перерывов, без остановки бетонирования. От этого напрямую зависит качество укладки покрытия. Затем поверхность выравнивается, с помощью спецтехники накатывается рифление. Завершается этап нанесением пленкообразующей эмульсии, которая защищает свежеложенную бетонную смесь от быстрого испарения влаги. Через определенный временной интервал, после набора прочности бетона не более 8 МПа в поверхности покрытия нарезаются рабочие швы [20]. Различные способы укладки аэродромных покрытий представлены в [21-30].

Очень функционально и перспективно применение геосинтетики при строительстве аэродромов. Например, использование геокомпозита TenCate Polyfelt PGM-G [31], армированного стекловолокном, в качестве трещинопрерывающей прослойки при устройстве асфальтобетонного покрытия на цементобетонном основании с трещинами позволяет производить качественный ремонт цементобетонных оснований и покрытий. В этом случае подложка из нетканого полипропилена поглощает горизонтальные напряжения, не допуская образования отраженных трещин в новом слое асфальтобетона. Геотекстиль марок «Экотекс», «Геотекс», «Канвалан», «Геоком», «Авантекс», «ВК» и другие представляют собой тканые и нетканые геотекстильные материалы, изготовленные из высококачественного первичного полипропилена.

При организации искусственных оснований из различных крупнозернистых материалов, настилаемых на грунты глинистого типа, в качестве противозаливающего разделяющего слоя и для организации капиллярнопрерывающих прослоек используют термоскрепленный или иглопробивной геотекстиль.

Слабым местом аэродромных полос также является сдвигоустойчивость верхнего слоя относительно основания. При регулярном увлажнении атмосферными осадками в покрытии образуются балластные мешки и ложка, воспрепятствовать этому помогают геосинтетические материалы с решетчатой структурой. Уложенные на границе «песок-щебень» в качестве разделительной прослойки, они будут гарантировать надёжную сдвигоустойчивость на протяжении длительного периода. Что касается контакта «основание-щебень», то здесь лучше подойдут геосетки из нетканого геотекстиля. Особенности геотекстиля являются высокие показатели удлинения на разрыв, достигающие 45 %, большая фильтрационная способность и высокие показатели прочности.

Одно из требований к качеству аэродромных покрытий касается строгого регулирования влажности. Так, если аэродром размещается на территории земли с гидрогеологическими условиями II типа, а грунтовое основание представлено глиной, пылеватыми супесями, суглинками и другими, не дренирующими грунтами, в обязательном порядке необходима организация дренирующих слоёв из специальной геосинтетики. Лучше всего для организации дренажа подходит дренажный геокомпозит двух видов, отличающиеся дренажным ядром – это полипропиленовый геомат и экструдированная полимерная георешетка. Их применение обеспечивает быстрый отток воды, предотвращая её задержку и замерзание внутри аэродромной одежды.

Инновационные технологии наномодифицирования бетонов [32] позволили повысить их подвижность от П1 до П5, заметно увеличив прочность за счет водорастворимого аналога фуллерена «Астрален-С», введенного в цементные смеси в количестве 0,15 % от массы цемента. Он представляет собой порошок с насыпной плотностью 600-900 кг/м<sup>3</sup>, каждая крупинка которого является кластером, построенным из наночастиц. Средний размер кластеров 300 нм. На основе «Астралена-С» был разработан «Астрофлекс-РК» –



наноструктурированный неорганический ремонтный композит на водной основе. Его предназначение – быстрый ремонт взлетных полос аэродромов, железнодорожных железобетонных шпал, путей метрополитена, а также других подобных объектов. Через два часа после использования прочность «Астрофлекс-РК» достигает  $(20 \pm 2)$  МПа, через 12 часов –  $(30 \pm 5)$  МПа, через 36 часов –  $(40 \pm 5)$  МПа. Создан также «Астрофлекс ГП-1» – материал, проявляющий свойства гиперпластификатора, в виде порошка и 30 %-го водного раствора, вводимого в количестве 0,15 % от массы цемента, повышающий подвижность смеси от П1 до П5.

Разработанная А.Н. Пономаревым модифицированная астраленами базальтовая микрофибра (МФ) предназначена для дисперсного армирования бетонов вместо прутковой стальной арматуры или дисперсного армирования стальной фиброй. Введение МФ позволяет получить двойной эффект. Во-первых, МФ становится дисперсной арматурой для бетона, а дисперсное армирование эффективнее традиционного – прутковой арматуры. Во-вторых, с помощью МФ легче равномерно распределять в бетонной смеси НЧ астраленов.

Группа исследователей из Санкт-Петербурга под руководством профессора Ю.В. Пухаренко разработала эффективный наномодификатор, который позволяет при расходе  $1,4 \text{ кг/м}^3$  бетонной смеси увеличить её подвижность на 20-25 %, повысить морозостойкость и водонепроницаемость бетонов до полутора раз и снизить стоимость бетона.

Наномодификатор «Таунит», полученный каталитическим пиролизом углеводородов, дает твердые углеродные наномасштабные нитевидные образования преимущественно цилиндрической формы с внутренним каналом, добавление которого в сверхмалых ( $0,001-0,0001$  %) дозах в цементные смеси позволяет в полтора раза повышать прочность бетонов.

В научно-образовательном центре химической физики и мезоскопии Удмуртского научного центра Уральского отделения РАН, Ижевском государственном техническом университете и ОАО «Завод «Купол» созданы наночастицы, представляющие собой металлы (железо, кобальт, медь, никель), включенные в оболочку углерода. Такие НЧ оказались особенно эффективными для нанобетонов: повышают в два раза их прочность и трещиностойкость, снижают усадку, вводят в количестве  $0,001-0,01$  % по отношению к цементу. НПО «Стеклопластик» Московской области разработало бетон, получаемый из портландцемента, традиционных заполнителей и наномодификатора (его суть – ноухау), добавляемого в количестве  $0,01-0,02$  % к массе цемента, и воды, но не обычной, а структурированной ультразвуковой обработкой. Такой бетон уже в семисуточном возрасте приобретает прочность 47-50 МПа. Окончательная его прочность – около 100 МПа против 50-60 МПа для бетона того же состава, но приготовленного без наномодификатора и на обычной воде. В Военно-инженерном институте (г. Санкт-Петербург) с использованием изобретенных наномодификаторов удалось создать ремонтный бетонный состав, набирающий необходимую прочность уже через 8-10 часов.

Наряду с углеродными НЧ в последние годы при производстве материалов на основе портландцемента стали использовать НЧ диоксида кремния. Одной из разновидностей данных НЧ является микрокремнезем (МК). Его использование позволяет получить бетон с расходом цемента  $200-450 \text{ кг/м}^3$  и следующими характеристиками: марочная прочность М300-М1000, водонепроницаемость W12-W16, морозостойкость F200-F600 и даже F1000, коррозионная стойкость не ниже чем у сульфатостойкого цемента. При использовании МК появляется возможность экономить до 25 % цемента в бетонах без потери их технологических свойств. Еще более эффективным, чем МК, наномодификатором бетонов на основе портландцемента является кремнезоль (КЗ). Он представляет собой водный коллоидный раствор диоксида кремния. Установлено, что введение КЗ в количестве 1 % от массы цемента позволяет повысить прочность при сжатии и изгибе до



50 %, а также долговечность изделий. Предварительное пропитывание КЗ поверхности старого бетона перед нанесением свежего способствует повышению адгезионной прочности, а обработка им поверхности свежего бетона предотвращает образование микротрещин в процессе твердения. Обработка же зрелого бетона позволяет устранить уже образовавшиеся трещины.

Одним из необычных направлений в применении многофункциональных нанодобавок является создание бетонов с самоочищающимися поверхностями, что достигается с помощью наноразмерного диоксида титана рутильной модификации, являющийся фотокатализатором, способным окислять до углекислого газа и воды на своей поверхности при освещении солнечным светом частицы органических веществ, составляющих загрязнения. Фотокатализатор способен окислять молекулы таких веществ, как пары бензина, оксид углерода, альдегиды и разрушать тела микроорганизмов.

К конструкциям современных аэродромных покрытий условно следует отнести усиленные покрытия, в которых усиление достигается за счет наращивания верхних слоев цементобетоном или асфальтобетоном. По сравнению с зарубежным опытом, где усиление старых цементобетонных покрытий осуществляется в основном слоями асфальтобетона, у нас в стране усиление выполнялось преимущественно цементобетоном. Усиление покрытий предполагает не только повышение несущей способности, но и ликвидацию всех дефектов, которые были присущи старому покрытию, что обеспечит безопасность эксплуатации воздушных судов. Для усиления аэродромных покрытий посредством цементобетона используют два метода: сращивание и наращивание. Применяют бетон, армобетон, предварительно напряженный монолитный железобетон, сборные предварительно напряженные железобетонные плиты.

При сращивании обеспечивается полная связь поверхности старого покрытия с новым слоем так, что усиленное покрытие может рассматриваться как единый монолит, обладающий большей жесткостью поперечного сечения. Но при этом должно быть осуществлено полное совмещение швов в слое усиления со швами нижележащего покрытия. В расчетном плане покрытия, построенные методом сращивания, принципиально ничем не отличаются от однослойных. В нашей стране до настоящего времени считается нецелесообразным применение метода сращивания. Это обусловлено большой трудоемкостью и тщательностью работ по сращиванию слоев.

При усилении покрытий методом наращивания между старым покрытием и новым слоем устраивается разделительная прослойка, не требующая обязательного совпадения швов в старом покрытии и слое усиления.

Основной особенностью отечественного подхода к проектированию слоев усиления из монолитного бетона является то, что они устраиваются по разделительным прослойкам, обеспечивающим независимые температурные деформации слоев покрытия. Это дает возможность создания конструкций с несовмещенными швами (швы плит существующего слоя не совпадают в плане со швами плит слоя усиления). Такой подход был реализован в проектах ряда аэродромов гражданской и военной авиации. Например, технико-экономическое обоснование на реконструкцию аэродрома Моздок, в котором рассматривались два варианта конструктивного решения слоя усиления (железобетон с рациональным армированием и традиционный армобетон), показало, что предлагаемое конструктивное решение в сравнении с традиционным позволяет получить экономию: товарного бетона – 0,04-0,06 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> покрытия; арматурной стали – 4,0-6,0 кг на 1 м<sup>2</sup> покрытия при армировании стержнями диаметром 10 мм.

Усиление аэродромных покрытий слоями из монолитного цементобетона – мероприятие более трудоемкое и дорогостоящее по сравнению с усилением асфальтобетоном, но стоимость эксплуатации таких покрытий ниже. Обладая рядом преимуществ,



усиленные монолитным цементобетоном аэродромные покрытия тем не менее не лишены и недостатков. Это, прежде всего, недостатки, характерные в целом для этого материала – разрушение бетона в районе швов и шелушение поверхности покрытий. Разрушение цементобетонного покрытия в зоне швов связано с несовершенством их конструкции, недостаточной прочностью бетона, нарушением технологии строительства и эксплуатации. Организация трещинопрерывающих прослоек, предложенных в [33], или применение железобетонных плит слоя усиления [34] позволяет уменьшить эту проблему, но не исключает ее. Шелушение поверхности в большинстве случаев вызывается, помимо нарушения технологии укладки и ухода за бетоном, неправильно подобранным составом смеси, низкой плотностью и прочностью, недостаточной морозоустойчивостью и неудовлетворительным контролем за качеством производства работ. Избежать этих недостатков или ослабить их действие можно путем применения в слоях усиления высокопрочных бетонов (РИ55, ..., РИ65) [23]. Их применение позволяет уменьшить объем разрушения плит в зоне швов, так как такие бетоны обеспечивают нужную прочность на скалывание в тех случаях, когда покрытие эксплуатируется современными тяжелыми самолетами с высоким (до 1,4-1,5 МПа) давлением воздуха в пневматиках. Что касается нескалываемости кромок плит из бетона марок RH50, то она обеспечивается лишь при давлении в пневматиках до 1,2 МПа. Применение в слое усиления высокопрочного бетона существенно уменьшает развитие таких дефектов, как шелушение и выкрашивание поверхности плит.

Другим возможным способом усиления и восстановления жестких аэродромных покрытий может быть укладка тонкого слоя мелкозернистого цементобетона толщиной 1-8 см по коллоидно-цементному клею.

Усиление асфальтобетоном жестких аэродромных покрытий широко используется на Западе и, особенно, в США. В России из-за плохого качества асфальта, отсутствия широкомасштабных натурных исследований и недостаточного внимания к этому материалу асфальтобетон в меньшем объеме, чем на Западе, применяется в области аэродромного строительства, хотя имеются примеры его укладки на аэродромах Хабаровска, Ярославля, Нижневартовска, Радужного, Новосибирска и др., строительства перронов в аэропортах «Шереметьево», «Домодедово», в Челябинске и т.д. Поэтому остановимся, в основном, на зарубежном опыте работы с этим материалом.

При реконструкции аэродромов асфальтобетон используют как для удлинения ВПП, так и для наращивания покрытий. Преимущества асфальтобетона известны. Это экономичность, высокая ремонтпригодность, возможность повторного использования асфальтобетона при реконструкции (рециклирование), высокая механизация и скорость строительства. При новом строительстве элементов аэродромов применяют так называемые полноглубинные асфальтобетонные покрытия. Термин «полноглубинные» является прямым переводом американского термина Full-Depth, запатентованного Институтом Асфальта США. Этот термин означает, что горячий плотный асфальтобетон применен во всех слоях, лежащих выше грунтового основания.

Согласно строительным нормам Федеральной авиационной администрации США (FAA) AC 150/5320-16 все покрытия, рассчитываемые на работу воздушных судов весом более 445 кН, должны проектироваться как полноглубинные асфальтобетонные покрытия. Исключение из этого требования допускается только для сверхпрочного, морозостойкого каменного материала, применяемого для устройства основания с минимальным значением калифорнийского числа несущей способности СВР в водонасыщенном состоянии не менее 80 – для верхнего слоя основания и 35 – для нижнего, или для материалов, проверенных опытом эксплуатации под ожидаемыми нагрузками от воздушных судов в аналогичных климатических условиях. Одним из первых такое покрытие было применено в 1968 г. при удлинении ВПП на 500 м в аэропорту Бишоп (штат Мичиган, США).





Здесь слой асфальтобетона толщиной 48,3 см был уложен прямо на глинистый грунт, уплотненный до 95 % от максимальной плотности.

Не менее важным является применение асфальтобетона для своевременного восстановления поверхности или усиления цементобетонных покрытий. По анализу продолжительности работы 30 иностранных аэропортов средний срок службы цементобетонных покрытий составляет 21 год (с очень большим разбросом от 6 до 39 лет). Нанесение на разрушенное цементобетонное покрытие верхнего слоя из асфальтобетона является радикальной мерой, широко используемой в США и позволяющей продлить срок службы аэродромных покрытий еще на 15-20 лет. Тем не менее, существует проблема появления в асфальтобетоне отраженных трещин, и она начала рассматриваться уже с 1928 г.

Рассматривались следующие способы борьбы с появлением отраженных трещин: нанесение толстых слоев асфальтобетона; армирование слоя асфальтобетона; укладка полос ткани или пленки над швами и трещинами; применение трещинопрерывающих слоев из асфальтобетона открытой гранулометрии; нарезка швов в асфальтобетоне над швами в цементобетонном покрытии; фрагментация цементобетонного покрытия (деление плит на отдельные фрагменты) с последующей посадкой фрагментов на основание посредством укатки тяжелыми катками. Эффективность этих способов разными авторами оценивается по-разному.

Наиболее перспективным способом реконструкции цементобетонных покрытий считается их фрагментация с последующим нанесением верхнего слоя из асфальтобетона. При фрагментации значительно уменьшается эффективная длина плит, что, в свою очередь, пропорционально снижает величину растягивающих деформаций на нижней поверхности слоя наращивания.

Для повышения качества покрытий в асфальтобетонные смеси вводят активные структурообразующие наполнители и вяжущие. В качестве вяжущих добавок используют различные композиционные материалы, например, композит, приготовленный путем совместного помола цемента (18,0-96,5 мас. %), водоредуцирующего ПАВ (натриевой соли продукта конденсации нафталинсульфокислоты с формальдегидом 0,5-7,8 мас. %), минеральной добавки (3,0-75,0 мас. %) и структурирующей добавки (продукта производства фитостерина и/или этилгидридсексвиоксана) [35], бутадиен-пипериленовые сополимеры [36], сополимер этилена с винилацетатом, бутадиеновый или изопреновый каучуки [37, 38] и др.

Значительное количество разработок полимербетонных смесей относится к составам холодного отверждения. Как правило, основой таких составов является эпоксидная смола, отвердитель, пластификатор и минеральный наполнитель [39].

Для проведения ремонтных работ при слабом шелушении поверхности и защите от топливных химикатов и солей используют проникающие пропитки с последующим нанесением одного или двух слоев пленкообразующей пропитки, которые создают синергический эффект. Проникающая пропитка гидроизолирует и защищает бетон «в толще плиты», а пленкообразующая пропитка защищает поверхностный слой от проникновения в него различных химикатов и агрессивных веществ. Примером проникающей пропитки является Gem-Gard SX (Джем-Гард СИкс), созданная на основе силоксанов. Gem-Gard SX (Джем-Гард СИкс) высокоэффективный защитный состав «ГИДРОФИКС-Аэро» и др.

**Заключение.** Для повышения долговечности, несущей способности цементобетонных покрытий аэродромов и расширения использования жестких аэродромных и дорожных одежд, существуют активно развиваемые направления:

- применение непрерывно армированных цементобетонных покрытий;
- использование высокопрочных бетонов;



– использование новых геосинтетических материалов при строительстве и ремонте цементобетонных покрытий.

– использование наномодификаторов и применение нанотехнологий при упрочнении асфальтобетонных покрытий;

– усиление аэродромных покрытий методами сращивания и наращивания;

– применение полимерных вяжущих для упрочнения аэродромных покрытий и герметизации швов.

На основании выше приведенного анализа перспективными направлениями дальнейших исследований являются:

– разработка локально-объемных упрочнений взлетно-посадочной полосы в области взлёта и посадки воздушных судов (ВПП должна быть неоднородной по геометрическим характеристикам);

– синтез поверхностно-активных веществ, ориентированных на усиление адгезионных свойств бетонных смесей, приводящих к повышению прочностных параметров бетонов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин В. Удары по аэродромам // Независимое Военное Обозрение. 2015.
2. Сидоров А.А., Терегулова Э.Р. Перспективы применения, конструирования и расчета жестких дорожных одежд при строительстве автомобильных дорог и аэродромов // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: материалы IV студ. междунар. заочной науч.-практ. конф.: под ред. Я.А. Полонского. Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012. С. 51–60.
3. Глушков Г.И., Бабков В.Ф., Тригопи В.Е. и др. Жесткие покрытия аэродромов и автомобильных дорог: Учебное пособие для вузов; под ред. Глушкова Г.И. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1994. 349 с.
4. Руководство по ремонту аэродромных сооружений. М.: ГПИ и НИИ ГА «Аэропроект». 1996. 150 с.
5. Костенюк И.А., Добарский В.А. Где российские автомобильные дороги с цементобетонным покрытием? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gotaso.ru/press/?news=7>
6. Шейнин А.М., Эккель С.В. Высокопрочный бетон для дорожных и аэродромных покрытий // Бетон и железобетон. 1998. № 6. С. 7–9.
7. Пат. 2021419 Российская Федерация, МПК7 Е 01 С 5/18. Аэродромное покрытие / Колхир К.Ф. [и др.]; заявитель и патентообладатель Колхир К.Ф., Красовский В.Я., Тоцкий О.Н., Шорохов С.А. № 5024815/33; заявл. 09.01.1994; опубл. 15.10.1994, Бюл. № 32.
8. А.с. 1838497 СССР, МКИЗ Е 01 С 5/00. Стыковое соединение плит дорожного и аэродромного покрытия / В.А. Зельманович; № 4940599/33; заявл. 03.06.91; опубл. 30.08.93, Бюл. № 32. 4 с.
9. А.с. 1838496 СССР, МКИЗ Е 01 С 5/00, Е 01 С 5/22. Предварительно напряженная железобетонная плита сборного аэродромного или дорожного покрытия / Б.И. Демин, В.А. Кульчицкий, Л.В. Пчелкина, Н.В. Васильев, Ю.И. Матвеев. № 4933013/33; заявл. 08.05.91; опубл. 30.08.93, Бюл. № 32. 3 с.
10. А.с. 1661260 СССР, МКИЗ Е 01 С 5/00. Предварительно напряженная железобетонная плита сборного аэродромного или дорожного покрытия / Н.Ф. Башлыков, А.В. Ковальчук, В.К. Колесников, В.А. Макагонов, В.В. Минеев, В.Г. Мирзоев, Л.П. Попов, Г.П. Тонких, Л.П. Шестаков. № 4486648/33; заявл. 26.09.88; опубл. 07.07.91, Бюл. № 25. 2 с.



11. Майдель В.Г., Городецкий Л.В. Связи между плитами сборных покрытий автомобильных дорог: сб. науч. тр. / Исследования в области дорожного строительства г. Москвы. М.: НИИМосстрой. 1967. С. 40–59.

12. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов: Монография. М.: Издательство АСВ, 2011. 642 с.

13. Крылов Б.А. Фибробетон и фиброцемент за рубежом // Строительные материалы, изделия и конструкции. ЦНИИС. Обзорная информация, Вып.5. М., 1979. 53 с.

14. Пат. 2548625 Российская Федерация, МПК7 С 04 В 26/26, С 04 В 111/20, С 04 В 111/27. Асфальтобетон / Щепетева Л.С. [и др.]; заявитель и патентообладатель ООО «Лаборатории Эффективных Материалов». № 2013142973/03; заявл. 20.09.2013; опубл. 20.04.2015, Бюл. № 11.

15. Пат. 2324667 Российская Федерация, МПК7 С 04 В 26/26, С 04 В 14/12. Битумно-минеральная композиция / Борисенко Ю.Г., Борисенко О.А.; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «Северо-Кавказский гос. техн. ун-т». № 2006143476/04; заявл. 07.12.2006; опубл. 20.05.2008, Бюл. № 14.

16. Пат. 2436819 Российская Федерация, МПК7 С 08 L 95/00. Битумно-минеральная композиция / Борисенко Ю.Г. [и др.]; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «Северо-Кавказский гос. техн. ун-т». № 2010121284/05; заявл. 25.05.2010; опубл. 20.12.2011, Бюл. № 35.

17. Пат. 2351563 Российская Федерация, МПК7 С 04 В 28/02, С 04 В 40/00, С 04 В 111/20. Способ приготовления бетонной смеси / Суханов М.А. [и др.]; заявитель и патентообладатель Суханов М.А. № 2007123258/03; заявл. 21.06.2007; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 10.

18. Пат. 2375303 Российская Федерация, МПК7 С 01 В 33/32, С 04 В 12/04. Способ приготовления ультрадисперсного вяжущего материала / Ковалев А.В. [и др.]; заявитель и патентообладатель Ковалев А.В., Чукалин И.А. № 2007137697/03; заявл. 12.10.2007; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 34.

19. Пат. 2370467 Российская Федерация, МПК7 С 04 В 24/00. Комплексная добавка в бетонные смеси и строительные растворы / Степанова Т.А. [и др.]; заявитель и патентообладатель ООО «Компонент». № 2008117225/03; заявл. 05.05.2008; опубл. 20.10.2009, Бюл. № 29.

20. Владимир Полуянов / russianplanes.net Сообщение размещено в открытом доступе на сайте Спецстроя России.

21. Бадьин Г.М., Мещанинов А.В. Технология строительного производства. СПб.: Стройиздат. 1987. С. 270-276.

22. Пат. 2228989 Российская Федерация, МПК7 Е 01 С 7/32, В 28 В 13/02 Способ бетонирования дорожных и аэродромных покрытий / Куролапов Д.В. [и др.]; заявитель и патентообладатель Военный инженерно-технический ун-т. № 2002119481; заявл. 17.07.2002; опубл. 20.05.2004, Бюл. № 14.

23. Пат. 2206658 Российская Федерация, МПК7 Е 01 С 7/32, В 28 В 13/02 Способ бетонирования дорожных и аэродромных покрытий / Куролапов Д.В. [и др.]; заявитель и патентообладатель Военный инженерно-технический ун-т. № 2001101203/03; заявл. 12.01.2001; опубл. 20.06.2003, Бюл. № 17.

24. Пат. 2206657 Российская Федерация, МПК7 Е 01 С 7/14, Е 01 С 19/38. Способ бетонирования аэродромных и дорожных покрытий / Курлапов Д.В. [и др.]; заявитель и патентообладатель Военный инженерно-технический ун-т. № 2001112139/03; заявл. 03.05.2001; опубл. 20.06.2003, Бюл. № 17.

25. Пат. 2209866 Российская Федерация, МПК7 Е 01 С 7/00, Е 01 С 7/32. Способ бетонирования аэродромных и дорожных покрытий / Курлапов Д.В. [и др.]; заявитель и патентообладатель Военный инженерно-технический ун-т. № 2002103780/03; заявл. 11.02.2002; опубл. 10.08.2003, Бюл. № 22.



26. Пат. 2485240 Российская Федерация, МПК7 Е 01 С 5/10. Способ изготовления предварительно напряженных, сборных железобетонных твердых покрытий дорог и аэродромных полос / Мартынов А.А. [и др.]; заявитель Мартынов А.А., Лобов О.И. № 2011127043/03, заявл. 01.07.2011, опубл. 20.06.2013, Бюл. № 17.

27. Пат. 2468140 Российская Федерация, МПК7 Е 01 С 5/08. Предварительно напряженная железобетонная плита сборного аэродромного или дорожного покрытия, армированная высокопрочной напрягаемой арматурой / Демин Б.И.; заявитель ООО «СПАОК». № 2011118342/03, заявл. 29.04.2011, опубл. 27.11.2012, Бюл. № 33.

28. Пат. 2351704 Российская Федерация, МПК7 Е 01 С 9/00. Жесткое однослойное монолитное железобетонное аэродромное покрытие, возводимое на пучинистом грунтовом основании / Абжалимов Р.Ш.; заявитель и патентообладатель ООО НИПСФ «АБИК». № 2007117053/03; заявл. 07.05.2007; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 10.

29. Пат. 143135 Российская Федерация, МПК7 Е 01 С 11/24. Аэродромное покрытие / Дудышев В.Д.; заявитель Дудышев В.Д. № 2014104338/03, заявл. 07.02.2014, опубл. 20.08.2015, Бюл. № 23.

30. Пат. 5660 Республика Беларусь, МПК7 Е 01 С 5/00. Сборное аэродромное или дорожное покрытие / Тимохин П.Н.; заявитель и патентообладатель Тимохин П.Н. № 961178; заявл. 27.12.1996; опубл. 30.12.2003, Бюл. № 33.

31. Каталог геосинтетических материалов. СПб.: АБС-Текситиль. 28 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http:// www.tencategeosynthetics.com](http://www.tencategeosynthetics.com).

32. Войтович В.А. Строительные наноматериалы // Руководитель строительной организации. 2011. № 2.

33. Пат. 2158798 Российская Федерация, МПК7 Е 01 D 19/06, Е 01 С 11/02. Трещинопрерывающая прослойка / Тоцкий О.Н.; заявитель и патентообладатель Тоцкий О.Н. № 2000106632/03; заявл. 20.03.2000; опубл. 10.11.2000, Бюл. № 31.

34. Пат. 2041311 Российская Федерация, МПК7 Е 01 С 5/06, Е 01 С 5/22. Железобетонная плита слоя усиления сборного аэродромного или дорожного покрытия / Кульчицкий В.А. [и др.]; заявитель и патентообладатель Кульчицкий В.А., Васильев Н.Б., Демин Б.И., Пчелкина Л.Б., Чеков А.Н. № 93047896/33; заявл. 14.10.1993, опубл. 09.08.1995, Бюл. № 23.

35. Пат. 2167114 Российская Федерация, МПК7 С 04 В 7/52. Способ приготовления вяжущего / Махинин Б.В.; заявитель и патентообладатель Дальневосточный госуд. ун-т путей сообщения. № 99117223/03; заявл. 09.08.1999; опубл. 20.05.2001, Бюл. № 14.

36. Пат. 2117644 Российская Федерация, МПК7 С 04 В 26/14. Полимербетонная смесь / Барабаш Д.Е. [и др.]; заявитель и патентообладатель Воронежское высш. военное авиац. инж. училище; № 96106602/04; заявл. 02.04.1996; опубл. 20.08.1998, Бюл. № 21.

37. Пат. 2326143 Российская Федерация, МПК7 С 08 L 95/00, С 04 В 26/26. Вяжущее для дорожного покрытия / Кемалов А.Ф. [и др.]; заявитель и патентообладатель ООО НПЦ «Инвента». № 2007100617/04; заявл. 09.01.2007; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 16.

38. Пат. 2241723 Российская Федерация, МПК7 С 08 L 95/00, С 08 К 13/02, С 08 L 9/00, С 08 К 5/06. Вяжущее для дорожного покрытия / Кемалов А.Ф. [и др.]; заявитель и патентообладатель Кемалов А.Ф., Ляпин А.Ю., Ганиева Т.Ф., Дияров И.Н., Плаксунов Т.К. № 2003120603/04; заявл. 07.07.2003; опубл. 10.12.2004, Бюл. № 34.

39. Пат. 530868 СССР, МКИЗ С 04 В. Полимербетонная смесь для дорожных покрытий / Н.Д. Доронина, [и др.]; заявитель и патентообладатель Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский ин-т. № 2005991/33; заявл. 20.03.1974; опубл. 11.02.1977, Бюл. № 3.





## REFERENCES

1. Kalinin V. Udary po aerodromam // Nezavisimoe Voennoe Obozrenie. 2015.
2. Sidorov A.A., Teregulova E.R. Perspektivy primeneniia, konstruirovaniia i rascheta zhestkikh dorozhnykh odezhd pri stroitel'stve avtomobil'nykh dorog i aerodromov // Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletii. Tekhnicheskie nauki: materialy IV stud. mezhdunar. zaochnoi nauch.-prakt. konf.: pod red. Ia.A. Polonskogo. Novosibirsk: Izd. "Sibirskaiia assotsiatsiia konsultantov", 2012. S. 51–60.
3. Glushkov G.I., Babkov V.F., Trigoni V.E. i dr. Zhestkie pokrytiia aerodromov i avtomobil'nykh dorog: Uchebnoe posobie dlia vuzov; pod red. Glushkova G.I. 2-e izd., pe-rerab. i dop. M.: Transport, 1994. 349 s.
4. Rukovodstvo po remontu aerodromnykh sooruzhenii. M.: GPI i NII GA «Aero-proekt». 1996. 150 s.
5. Kosteniuk I.A., Dobarskii V.A. Gde rossiiskie avtomobil'nye dorogi s tse-mentobetonnym pokrytiem? [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://gomaco.ru>press/?news=7>
6. Sheinin A.M., Ekkel' S.V. Vysokoprochnyi beton dlia dorozhnykh i aerodromnykh pokrytii // Beton i zhelezobeton. 1998. № 6. S. 7–9.
7. Pat. 2021419 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 E 01 S 5/18. Aerodromnoe pokrytie / Kolkhir K.F. [i dr.]; zaiavitel' i patentoobladatel' Kolkhir K.F., Krasovskii V.Ia., Totskii O.N., Shorokhov S.A. № 5024815/33; zaiavl. 09.01.1994; opubl. 15.10.1994, Biul. № 32.
8. A.s. 1838497 SSSR, MKI3 E 01 S 5/00. Stykovoie soedinenie plit dorozhnogo i aerodromnogo pokrytiia / V.A. Zel'manovich; № 4940599/33; zaiavl. 03.06.91; opubl. 30.08.93, Biul. № 32. 4 s.
9. A.s. 1838496 SSSR, MKI3 E 01 S 5/00, E 01 S 5/22. Predvaritel'no napriazhen-naia zhelezobetonnaia plita sbornogo aerodromnogo ili dorozhnogo pokrytiia / B.I. De-min, V.A. Kul'chitskii, L.V. Pchelkina, N.V. Vasil'ev, Iu.I. Matveev. № 4933013/33; zaiavl. 08.05.91; opubl. 30.08.93, Biul. № 32. 3 s.
10. A.s. 1661260 SSSR, MKI3 E 01 S 5/00. Predvaritel'no napriazhennaia zhelezo-betonnaia plita sbornogo aerodromnogo ili dorozhnogo pokrytiia / N.F. Bashlykov, A.V. Koval'chuk, V.K. Kolesnikov, V.A. Makagonov, V.V. Mineev, V.G. Mirzoev, L.P. Popov, G.P. Tonkikh, L.P. Shestakov. № 4486648/33; zaiavl. 26.09.88; opubl. 07.07.91, Biul. № 25. 2 s.
11. Maidel' V.G., Gorodetskii L.V. Sviazi mezhdu plitami sbornykh pokrytii avtomobil'nykh dorog: sb. nauch. tr. / Issledovaniia v oblasti dorozhnogo stroitel'stva g. Moskvyy. M.: NIIMosstroi. 1967. S. 40–59.
12. Rabinovich F.N. Kompozity na osnove dispersno-armirovannykh betonov: Monografiia. M.: Izdatel'stvo ASV, 2011. 642 s.
13. Krylov B.A. Fibrobeta i fibrotsement za rubezhom // Stroitel'nye materi-aly, izdeliia i konstruktsii. TsNIIS. Obzornaia informatsiia, Vyp.5. M., 1979. 53 s.
14. Pat. 2548625 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 S 04 V 26/26, S 04 V 111/20, S 04 V 111/27. Asfal'tobeton / Shchepeteva L.S. [i dr.]; zaiavitel' i patentoobladatel' OOO "Laboratorii Effektivnykh Materialov". № 2013142973/03; zaiavl. 20.09.2013; opubl. 20.04.2015, Biul. № 11.
15. Pat. 2324667 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 S 04 V 26/26, S 04 V 14/12. Bitumnomineral'naia kompozitsiia / Borisenko Iu.G., Borisenko O.A.; zaiavitel' i paten-toobladatel' GOUVPO "Severo-Kavkazskii gos. tekhn. un-t". № 2006143476/04; zaiavl. 07.12.2006; opubl. 20.05.2008, Biul. № 14.
16. Pat. 2436819 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 S 08 L 95/00. Bitumno-mineral'naia kompozitsiia / Borisenko Iu.G. [i dr.]; zaiavitel' i patentoobladatel' GOUVPO "Severo-Kavkazskii gos. tekhn. un-t". № 2010121284/05; zaiavl. 25.05.2010; opubl. 20.12.2011, Biul. № 35.



17. Pat. 2351563 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 S 04 V 28/02, S 04 V 40/00, S 04 V 111/20. Sposob prigotovleniia betonnoi smesi / Sukhanov M.A. [i dr.]; zaiavitel' i pa-tentoobladatel' Sukhanov M.A. № 2007123258/03; zaiavl. 21.06.2007; opubl. 10.04.2009, Biul. № 10.

18. Pat. 2375303 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 S 01 V 33/32, S 04 V 12/04. Sposob prigotovleniia ul'tradispersnogo viazhushchego materiala / Kovalev A.V. [i dr.]; zaiavitel' i patentoobladatel' Kovalev A.V., Chukalin I.A. № 2007137697/03; zaiavl. 12.10.2007; opubl. 10.12.2009, Biul. № 34.

19. Pat. 2370467 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 S 04 V 24/00. Kompleksnaia dobavka v betonnye smesi i stroitel'nye rastvory / Stepanova T.A. [i dr.]; zaiavitel' i pa-tentoobladatel' OOO «Komponent». № 2008117225/03; zaiavl. 05.05.2008; opubl. 20.10.2009, Biul. № 29.

20. Vladimir Poluianov / russianplanes.net Soobshchenie razmeshcheno v otkrytom dostupe na saite Spetsstroia Rossii.

21. Bad'in G.M., Meshchaninov A.V. Tekhnologiya stroitel'nogo proizvodstva. SPb.: Stroizdat. 1987. S. 270-276.

22. Pat. 2228989 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 E 01 C 7/32, B 28 B 13/02 Sposob betonirovaniia dorozhnykh i aerodromnykh pokrytii / Kurolapov D.V. [i dr.]; zaiavitel' i patentoobladatel' Voennyi inzhenerno-tekhnikeskii un-t. № 2002119481; zaiavl. 17.07.2002; opubl. 20.05.2004, Biul. № 14.

23. Pat. 2206658 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 E 01 C 7/32, B 28 B 13/02 Sposob betonirovaniia dorozhnykh i aerodromnykh pokrytii / Kurolapov D.V. [i dr.]; zaiavitel' i patentoobladatel' Voennyi inzhenerno-tekhnikeskii un-t. № 2001101203/03; zaiavl. 12.01.2001; opubl. 20.06.2003, Biul. № 17.

24. Pat. 2206657 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 E 01 S 7/14, E 01 S 19/38. Sposob betonirovaniia aerodromnykh i dorozhnykh pokrytii / Kurlapov D.V. [i dr.]; zaiavitel' i patentoobladatel' Voennyi inzhenerno-tekhnikeskii un-t. № 2001112139/03; zaiavl. 03.05.2001; opubl. 20.06.2003, Biul. № 17.

25. Pat. 2209866 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 E 01 S 7/00, E 01 S 7/32. Sposob betonirovaniia aerodromnykh i dorozhnykh pokrytii / Kurlapov D.V. [i dr.]; zaiavitel' i patentoobladatel' Voennyi inzhenerno-tekhnikeskii un-t. № 2002103780/03; zaiavl. 11.02.2002; opubl. 10.08.2003, Biul. № 22.

26. Pat. 2485240 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 E 01 S 5/10. Sposob izgotovleniia predvaritel'no napriazhennykh, sbornykh zhelezobetonnykh tverdykh pokrytii dorog i aerodromnykh polos / Martynov A.A. [i dr.]; zaiavitel' Martynov A.A., Lobov O.I. № 2011127043/03, zaiavl. 01.07.2011, opubl. 20.06.2013, Biul. № 17.

27. Pat. 2468140 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 E 01 S 5/08. Predvaritel'no napriazhennaia zhelezobonnaia plita sbornogo aerodromnogo ili dorozhnogo pokrytiia, armirovannaia vysokoprochnoi napriagaemoi armaturoi / Demin B.I.; zaiavitel' OOO «SPAOK». № 2011118342/03, zaiavl. 29.04.2011, opubl. 27.11.2012, Biul. № 33.

28. Pat. 2351704 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 E 01 S 9/00. Zhestkoe odnosloinoe monolitnoe zhelezobetonnoe aerodromnoe pokrytie, vozvodimoe na puchinistom gruntovom osnovanii / Abzhalimov R.Sh.; zaiavitel' i patentoobladatel' OOO NIPSF «ABIK». № 2007117053/03; zaiavl. 07.05.2007; opubl. 10.04.2009, Biul. № 10.

29. Pat. 143135 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 E 01 S 11/24. Aerodromnoe pokrytie / Dudyshev V.D.; zaiavitel' Dudyshev V.D. № 2014104338/03, zaiavl. 07.02.2014, opubl. 20.08.2015, Biul. № 23.

30. Pat. 5660 Respublika Belarus', MPK7 E 01 S 5/00. Sbornoe aerodromnoe ili dorozhnoe pokrytie / Timokhin P.N.; zaiavitel' i patentoobladatel' Timokhin P.N. № 961178; zaiavl. 27.12.1996; opubl. 30.12.2003, Biul. № 33.

31. Katalog geosinteticheskikh materialov. SPb.: ABS-Teksitil'. 28 s. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: [http:// www.tencategeosynthetics.com](http://www.tencategeosynthetics.com).



32. Voitovich V.A. Stroitel'nye nanomaterialy // Rukovoditel' stroitel'noi organizatsii. 2011. № 2.
33. Pat. 2158798 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 E 01 D 19/06, E 01 S 11/02. Tre-shchinopreryvaiushchaia prosloika / Totskii O.N.; zaiavitel' i patentoobladatel' Totskii O.N. № 2000106632/03; zaiavl. 20.03.2000; opubl. 10.11.2000, Biul. № 31.
34. Pat. 2041311 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 E 01 S 5/06, E 01 S 5/22. Zhelezo-betonnaia plita sloia usileniia sbornogo aerodromnogo ili dorozhnogo pokrytiia / Kul'chitskii V.A. [i dr.]; zaiavitel' i patentoobladatel' Kul'chitskii V.A., Vasil'ev N.B., Demin B.I., Pchelkina L.B., Chekov A.N. № 93047896/33; zaiavl. 14.10.1993, opubl. 09.08.1995, Biul. № 23.
35. Pat. 2167114 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 S 04 V 7/52. Sposob prigotovle-niia viazhushchego / Makhinin B.V.; zaiavitel' i patentoobladatel' Dal'nevostochnyi gosud. un-t putei soobshcheniia. № 99117223/03; zaiavl. 09.08.1999; opubl. 20.05.2001, Biul. № 14.
36. Pat. 2117644 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 S 04 V 26/14. Polimerbetonnaia smes' / Barabash D.E. [i dr.]; zaiavitel' i patentoobladatel' Voronezhskoe vyssh. voennoe aviats. inzh. uchilishche; № 96106602/04; zaiavl. 02.04.1996; opubl. 20.08.1998, Biul. № 21.
37. Pat. 2326143 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 S 08 L 95/00, C 04 B 26/26. Viazhushchee dlia dorozhnogo pokrytiia / Kemalov A.F. [i dr.]; zaiavitel' i patentoobladatel' OOO NPTs "Inventa". № 2007100617/04; zaiavl. 09.01.2007; opubl. 10.06.2008, Biul. № 16.
38. Pat. 2241723 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 S 08 L 95/00, C 08 K 13/02, S 08 L 9/00, S 08 K 5/06. Viazhushchee dlia dorozhnogo pokrytiia / Kemalov A.F. [i dr.]; zaiavitel' i patentoobladatel' Kemalov A.F., Liapin A.Iu., Ganieva T.F., Diarov I.N., Plaksunov T.K. № 2003120603/04; zaiavl. 07.07.2003; opubl. 10.12.2004, Biul. № 34.
39. Pat. 530868 SSSR, MKI3 S 04 V. Polimerbetonnaia smes' dlia dorozhnykh po-krytii / N.D. Doronina, [i dr.]; zaiavitel' i patentoobladatel' Gosudarstvennyi vse-soiuznyi dorozhnyi nauchno-issledovatel'skii in-t. № 2005991/33; zaiavl. 20.03.1974; opubl. 11.02.1977, Biul. № 3.

© Филимонова О.Н., Енютина М.В., Никулин С.С., Костылева Л.Н., 2017

«Воздушно-космические силы. Теория и практика». Материал поступил в редколлегию 18.05.2017 г.

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, vaiu@mil.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, vaiu@mil.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, vaiu@mil.ru

Костылева Людмила Николаевна, кандидат географических 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, vaiu@mil.ru