

АЭРОДРОМНЫЕ ПОКРЫТИЯ

СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД



УДК 629.139.001

ББК 39.513

К90

Кульчицкий В. А., Макагонов В. А., Васильев Н. Б., Чеков А. Н., Романков Н. И. **Аэродромные покрытия. Современный взгляд.** — М.: Физико-математическая литература, 2002. — 528 с. — ISBN 5-9221-0215-X.

Изложена краткая история научных исследований в области аэродромных покрытий различного типа, в том числе выполненных в последние годы. Приведены некоторые сведения о конструкциях слоев усиления и влиянии конструктивных особенностей аэродромных покрытий на их работу. Предложены математические модели и методы расчета напряженно-деформированного и тепловлажностного состояний аэродромных покрытий в системе «покрытие–основание» при воздействии эксплуатационных нагрузок и годовом цикле изменения температуры среды. Рассмотрены методы расчета несущей способности жестких и нежестких аэродромных покрытий, а также вопросы оценки их технического состояния, ремонта и сертификации.

Для единообразного понимания терминологии книга снабжена словарем.

Книга рассчитана на инженерно-технических и научных работников, деятельность которых сопряжена с проектированием, строительством и эксплуатацией аэродромов. Она может быть также полезна аспирантам и студентам в качестве учебного пособия.

Табл. 58. Ил. 205. Библиогр. 320 назв.

Научное издание

*КУЛЬЧИЦКИЙ Владимир Антонович, МАКАГОНОВ Виктор Александрович,
ВАСИЛЬЕВ Николай Борисович, ЧЕКОВ Андрей Николаевич,
РОМАНКОВ Николай Иванович*

АЭРОДРОМНЫЕ ПОКРЫТИЯ. СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД

Редактор *Н.Б. Бартошевич-Жагель*
Оригинал-макет *Е.Ю. Морозова*

ЛР № 071930 от 06.07.99. Подписано в печать 05.02.02
Формат 70×100/16. Бумага офсетная. Печать офсетная
Усл. печ. л. 42,57. Уч.-изд. л. 45. Тираж 1200 экз. Заказ № 1028.

Издательская фирма
«Физико-математическая литература»
117864 Москва, Профсоюзная ул., 90

Отпечатано с готовых диапозитивов.
ПФ «Полиграфист», 160001, г. Вологда,
ул. Челюскинцев, 3. Тел. (8172) 72-55-31, 72-61-75

ISBN 5-9221-0215-X



ISBN 5-9221-0215-X

© ФИЗМАТЛИТ, 2002

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	7
ГЛАВА 1. ИЗ ИСТОРИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ	
1.1. Грунтовые аэродромные покрытия	9
1.2. Упрощенные аэродромные покрытия	13
1.3. Ледовые и снежные аэродромы	17
1.4. Сборно-разборные (металлические) аэродромные покрытия	21
1.5. Цементобетонные аэродромные покрытия	26
1.6. Асфальтобетонные аэродромные покрытия	32
1.7. Взаимодействие колесных опор самолетов с аэродромными покрытиями	37
1.8. Основания для аэродромных покрытий	42
ГЛАВА 2. НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О КОНСТРУКЦИЯХ СОВРЕМЕННЫХ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ	
2.1. Покрытия, усиленные цементобетоном	49
2.2. Покрытия, усиленные асфальтобетоном	54
2.3. Швы и трещины в слоях усиления	60
2.4. Вода и слои усиления в аэродромных покрытиях	67
ГЛАВА 3. НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АЭРОДРОМНЫЕ ПОКРЫТИЯ	
3.1. Силовые воздействия (эксплуатационные нагрузки)	72
3.2. Природно-климатические воздействия	78
3.3. Воздействие высокотемпературных газовых струй авиационных двигателей	81
ГЛАВА 4. ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАГИ НА ОСНОВАНИЕ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ	
4.1. Одномерная математическая модель тепловлагоденоса в грунтовых основаниях аэродромных покрытий	85
4.2. Реализация математической модели тепловлагоденоса	89
4.3. Примеры использования модели тепловлагоденоса для решения задачи о промерзании (протаивании) грунтов оснований аэродромных покрытий	93
4.4. Тепло- и воднофизические характеристики грунтов	98
4.5. Некоторые результаты экспериментальных исследований модели тепловлагоденоса	105
ГЛАВА 5. ДВУХМЕРНАЯ ЭВОЛЮЦИОННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВЛАГОПЕРЕНОСА В ГРУНТОВОМ ОСНОВАНИИ	
5.1. Применение метода NDIM на примере решения одномерной задачи тепловлагоденоса в грунте	111

5.2. Двухмерная задача тепловлагопереноса в грунтах	131
5.2.1. Постановка задачи (131). 5.2.2. Составление матричной системы методом NDIM (135). 5.2.3. Численные методы и значения $\eta(t)$ (143). 5.2.4. Последовательность формирования глобальной матричной системы (149). 5.2.5. Уравнение баланса массы для областей узлов, прилегающих к внешней границе (граничные условия 2-го рода) (150). 5.2.6. Разложение в ряды Тейлора по времени нелинейных коэффициентов уравнения движения влаги (153). 5.2.7. Моделирование фазового перехода (160).	

ГЛАВА 6. НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕСТКИХ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК

6.1. Динамическое воздействие воздушного судна на аэродромные покрытия	166
6.2. Математическая модель многослойной упругой сжимаемой толщи при действии на нее самолетной нагрузки	176
6.3. Двухслойное жесткое покрытие: осесимметричная задача	187
6.4. Двухслойное жесткое покрытие: неосесимметричная задача	200
6.5. Экспериментальное исследование параметров напряженно-деформированного состояния двухслойного аэродромного покрытия	209

ГЛАВА 7. ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЖЕСТКИХ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

7.1. Стыковые соединения в однослойных покрытиях	216
7.2. Стыковые соединения в двухслойных покрытиях	222
7.3. Несовмещение швов в двухслойных аэродромных покрытиях	228
7.4. Расслоение плит и жесткость слоев в аэродромных покрытиях	240
7.5. Начальные зазоры под плитами сборного аэродромного покрытия	249
7.6. Пример расчета жесткого многослойного аэродромного покрытия с несомещенными швами	252
7.7. Сравнение основных теоретических результатов и выводов с экспериментальными данными	260

ГЛАВА 8. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ

8.1. Некоторые предпосылки для расчета температурных полей в аэродромных покрытиях	271
8.1.1. Учет тепловыделения бетона в строительный период (271).	
8.1.2. Внешнее тепловое воздействие на аэродромные покрытия (273).	
8.1.3. Упрощение модели многослойного аэродромного покрытия при расчете температурных полей (276).	
8.2. Температурный режим цементобетонных аэродромных покрытий в строительный период	279
8.3. Температурный режим аэродромных покрытий в эксплуатационный период	293
8.4. Температурный режим многослойных аэродромных покрытий при сложных граничных условиях	302

8.5. Температурный режим покрытий при воздействии высоких температур	316
8.6. Расчет температурных полей в покрытиях при высокотемпературном воздействии с учетом плавления материала	321

ГЛАВА 9. НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕСТКИХ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК С УЧЕТОМ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА В СИСТЕМЕ “ПОКРЫТИЕ-ОСНОВАНИЕ”

9.1. Температурные напряжения в покрытии при нестационарном изменении температуры	328
9.2. Покрытие в условиях сезонного промерзания оснований	337
9.3. Покрытие в условиях оттаивания промерзшего грунта	346
9.4. Взаимодействие покрытия с водонасыщенным грунтовым основанием	353
9.5. Воздействие деформаций морозного пучения на аэродромное покрытие	358

ГЛАВА 10. НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НЕЖЕСТКИХ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК

10.1. Отечественный нормативный метод расчета нежестких аэродромных покрытий	367
10.2. Международный стандарт по расчету нежестких аэродромных покрытий — метод CBR	377
10.3. Расчет нежестких аэродромных покрытий с использованием модели слоистого упругого полупространства — стандарт FAA	388
10.4. Расчет нежестких аэродромных покрытий с использованием модели многослойной упругой сжимаемой толщи ограниченной мощности	391

ГЛАВА 11. НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ

11.1. Представление данных о несущей способности покрытий и воздействии на них опор воздушных судов	397
11.2. Совершенствование методов оценки взаимодействия колесных опор воздушных судов с покрытиями	407
11.3. Оценка несущей способности аэродромных покрытий	431

ГЛАВА 12. ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ

12.1. Состав работ по оценке технического состояния аэродромных покрытий	443
12.2. Характерные повреждения аэродромных покрытий и методика их оценки	446
12.2.1. Повреждения цементобетонных покрытий (447). 12.2.2. Повреждения асфальтобетонных покрытий (452).	
12.3. Оценка грунтового основания	457
12.4. Испытание искусственных покрытий	460

12.5. Оценка поведения деформационных швов аэродромных покрытий в условиях изменения температуры	462
12.6. Ровность аэродромных покрытий	467

ГЛАВА 13. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕМОНТА АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ

13.1. Технологии текущего ремонта аэродромных покрытий	471
13.2. Материалы для текущего ремонта аэродромных покрытий	478
13.3. Особенности ремонта аэродромных покрытий на переувлажненных участках	482
13.4. Контроль качества работ при ремонте аэродромных покрытий	485

ГЛАВА 14. СЕРТИФИКАЦИЯ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ

14.1. Принципы и требования системы сертификации	488
14.2. Система сертификации на воздушном транспорте Российской Федерации	490
14.3. Сертификационные испытания аэродромных покрытий	493
Словарь	499
Список литературы	506

ПРЕДИСЛОВИЕ

Аэродромные покрытия представляют собой конструкции, воспринимающие нагрузки и воздействия от воздушных судов, эксплуатационных и природных факторов и удовлетворяющие требованиям обеспечения безопасности полетов. Одними из существенных качеств аэродромных покрытий, определяющих степень такой безопасности, являются их прочность, устойчивость и долговечность, особенно в сложных гидрогеологических условиях.

За последние годы наши представления о конструкциях аэродромных покрытий, методах их расчета, ремонта и восстановления значительно расширились. Однако некоторые исследования и достижения в этой области остались по ряду причин неизвестными широкой научной и инженерной общественности, в том числе многим из тех, кто занимается проектированием и эксплуатацией аэродромов.

К таким достижениям прежде всего можно отнести:

- аналитические и численные решения задач о напряженно-деформированном состоянии многослойных аэродромных покрытий при действии эксплуатационных нагрузок, результаты полигонных экспериментов;
- двухмерную эволюционную математическую модель тепло- и влагопереноса в грунтовом основании и метод ее реализации;
- теоретические и экспериментальные исследования процессов тепловлагопереноса, происходящих в системе “покрытие–основание”;
- выявление роли и влияния различных конструктивных особенностей аэродромных покрытий на характер их работы в период эксплуатации;
- новые практические методы оценки прочности и несущей способности покрытий при воздействии на них опор воздушных судов и др.

В связи с реконструкцией и ремонтом аэродромных покрытий в последние годы разработаны и освоены новые материалы и технологии, обеспечивающие восстановление и увеличение несущей способности аэродромных покрытий посредством создания слоев усиления, а также продление срока их службы.

Особое место в исследованиях занимает проблема оценки влияния тепла и влаги на состояние и поведение многослойной системы, включающей собственно покрытие, искусственное и естественное основания.

Если температурным воздействиям на аэродромные покрытия в эксплуатационный период посвящено достаточно много исследований, то совместным задачам по переносу тепла и влаги с учетом фазовых переходов — явно недостаточно. Такое положение объясняется рядом причин. Основные из них: сложность решения задач тепловлагопереноса из-за значительного количества факторов, влияющих на процессы формирования температурных и влажностных полей; непрерывное (во времени) изменение теплофизических, влажностных и прочностных характеристик материалов оснований и покрытий; многообразие конструктивных решений и типов грунтов, применяемых в системе “покрытие–основание”; многослойность. Перечисленные факторы в определенной степени ограничивали число исследований в этой области.

Следует также отметить, что в мировой практике аэродромостроения давно обращено внимание на такой материал, как асфальтобетон, позволяющий в короткие сроки перекрывать большие площади различных элементов аэродромов (взлетно-посадочных полос, рулежных дорожек, мест стоянок воздушных судов, перронов, внутриаэродромных дорог и т.д.). Обладая высокой технологичностью и ремонтпригодностью, асфальтобетон находит все большее применение в российских аэропортах. В этой связи в период 1994–1997 гг. в НПО «ПРОГРЕССТЕХ» были проведены исследования по изучению поведения асфальтобетонных покрытий на основаниях различной несущей способности при воздействии колесных нагрузок тяжелых воздушных судов в годовом цикле изменения температуры и влажности искусственных оснований, получены новые, ранее неизвестные, результаты. Это далеко не полный перечень научных направлений, которые разрабатывались в 80–90-е годы прошедшего столетия с целью совершенствования аэродромных покрытий.

Авторы не ставят своей целью обобщить все достижения аэродромной науки, в том числе результаты в области расчета и конструирования аэродромных покрытий, а лишь дополняют эту область новыми разработками. В книге излагается их личный взгляд на затронутые проблемы и приведены лишь те задачи и решения, которые ими поставлены и реализованы при научном сопровождении проектирования и строительства аэродромов. При этом они не претендуют на единственность мнения по затронутым вопросам и представленным решениям: они могут быть и иными.

Авторы приносят глубокую благодарность за оказанную в процессе работы помощь В.Н. Бойко, Н.Н. Бояринову, С.А. Буянову, С.В. Иванкову, О.В. Канунникову, Г.М. Клещину, Б.Л. Крамеру, С.М. Левченко, М.С. Минаевой, Г.Ю. Мурановой, А.А. Нестерову, В.П. Обледову, И.А. Онопа, С.А. Пузатову, Е.Н. Пупышевой, Л.Б. Пчелкиной, А.Г. Роганову, В.В. Рощину, А.Н. Соколову, Н.В. Тростиной, С.А. Усанову, Э.И. Шептинскому, С.Л. Эсаулову, а также за руководство работой на отдельных этапах и внимание к ней — Б.И. Демину, В.А. Долинченко, Ю.А. Павлову, Н.В. Свиридову, В.С. Удальцову, Е.Е. Шарашкину.

Книга написана сотрудниками Научно-производственного объединения «ПРОГРЕССТЕХ»: проф., докт. техн. наук В.А. Кульчицким; проф., докт. техн. наук В.А. Макагоновым; докт. техн. наук Н.Б. Васильевым; канд. техн. наук А.Н. Чековым; Н.И. Романковым.

Общее редактирование книги выполнено проф., докт. техн. наук В.А. Макагоновым.