

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР
КИЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ТЕОРИЯ СООРУЖЕНИЙ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

ОСНОВАН В 1965 г.

Выпуск 57

В сборнике публикуются статьи, содержащие результаты исследований в области сопротивления материалов, строительной механики, теории упругости и пластичности. Особое внимание уделяется развитию методов решения статических и динамических задач расчета пространственных конструкций, состоящих из оболочек, пластин, массивных тел в линейной и нелинейной постановке, динамике конструкций при взаимодействии силовых и тепловых полей, а также разработке численных алгоритмов реализации исследований на ЭВМ.

Сборник рассчитан на научных работников, аспирантов и инженеров, работающих в различных областях науки и техники.

Редакционная коллегия: В. А. Баженов (зам. отв. редактора), Ю. И. Бутенко, Е. П. Вериженко, В. И. Гуляев, И. Е. Дебривный, А. С. Дехтярь, И. С. Доценко, Г. В. Исаханов (отв. редактор), А. С. Космодамианский, В. И. Москаковский, А. А. Одинец, Г. С. Писаренко, В. П. Пустовойтов, А. Ф. Рябов, А. С. Сахаров (отв. секретарь), А. Л. Снявский, Н. П. Флейшман.

Адрес редколлегии: 252037, Киев, Воздухофлотский проспект, 31.
Телефон 272-94-68

Редакция литературы по экономике и управлению в строительстве.
Зав. редакцией В. Г. Титова
Редактор Г. И. Негода

Сборник научных трудов

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ТЕОРИЯ СООРУЖЕНИЙ

Выпуск 37

Художественный редактор Б. В. Сушко
Технический редактор К. Е. Ставрова
Корректор Л. И. Римаренко

ИБ 3251

Сдано в набор 17.08.90. Подписано в печать 05.11.90. Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Высокая печать. Усл. печ. л. 7. Усл. кр.-отг. 7,38. Уч.-изд. л. 7,82. Тираж 500 экз. Заказ № 0—1499. Цена 1 р. 60 к.

Издательство «Будивэльник» 252053 Киев, ул. Обсерваторная, 25.

Отпечатано с матриц Головного предприятия РПО «Полиграфкнига» на Киевской фабрике печатной рекламы. 252067 Киев, ул. Выборгская, 84.

С $\frac{2004030000-093}{M203(04)-09}$ 64—90

© Киевский инженерно-строительный институт, 1990

СОДЕРЖАНИЕ

Баженов В. А., Оглобля А. И., Геращенко О. В. Расчет трехслойных композитных оболочек сложной формы	3
Гуляев В. И., Гром А. А. Сложное вращение роторов, установленных на гибких валах	10
Гайдайчук В. В. Метод построения решения нелинейных уравнений теории гибких стержней	19
Кондаков Г. С., Гоцуляк Е. А. Расчет колебаний пенала сборки	23
Киричук А. А., Гбену-Атигло О. Устойчивость нелинейных колебаний тороидальной оболочки эллиптического сечения	28
Баженов В. А., Динкевич Ю. Л. Устойчивость двухслойной цилиндрической оболочки с абляционным внешним слоем при наличии зон термической деградации связующего	32
Сахаров А. С., Гондляр А. В., Мельников С. Л., Сайко О. Я. Применение итерационно-аналитической теории оболочек к оценке напряженно-деформированного состояния конструкций химического машиностроения	36
Гуляр А. И., Майборода Е. Е. Исследование термонапряженного состояния пространственных конструкций на базе полуаналитического варианта метода конечных элементов	42
Топор А. Г., Иванова К. Г. Исследование установившихся пространственных колебаний осесимметричных и призматических тел	47
Дехтярь А. С. Несущая способность коробчатых непризматических оболочек	51
Ковтунов В. Б. Расчет статической устойчивости стержневых конструкций на ПЭВМ	56
Гуляев В. И., Кравченко С. Г., Головатюк К. Я. Динамика струнного маятника с подвижной массой	60
Кислый А. А. Вынужденные колебания системы с несколькими степенями свободы в присутствии сил сухого трения	64
Евстафьев А. Н., Работягов Д. Д. Обратная задача изгиба длинной плиты, лежащей на упругом основании	68
Кобиев В. Г., Ляшенко М. В., Обремский С. В. Оценка напряженно-деформированного состояния бесконечного упругого слоя при произвольном внешнем нагружении	73
Яценко Е. А., Дудка С. В. Метод начальных параметров в линейной теории ползучести	80
Аеева Г. Н. Численный анализ напряженно-деформированного состояния тонкослойных покрытий аэродромов	86
Кульчицкий В. А., Иванков С. В., Буянов С. А., Пчелкина Л. Б. Влияние податливости выравнивающих прослоек на работу жестких слоев усиления аэродромных покрытий	90
Заневский И. Ф. К расчету плеча спортивного лука	96
Клишко И. А., Лумельский Е. Д. Численное построение асимптотически квазипериодических решений в задачах о нелинейных колебаниях пластин	99
Исаханов Г. В., Мельник-Мельников П. Г., Кацапчук А. Н. Исследование нестационарных случайных колебаний цилиндрической панели в геометрически нелинейной постановке	104
Шульга Н. А. К теории упругих колебаний трансверсально-изотропных тел	108

Если воздействие изменяется во времени по некоторому случайному статистически выявленному графику, то его аппроксимацию наиболее удобно выразить в форме полинома $U(\Phi) = C_0 + C_1\Phi + C_2\Phi^2 + C_n\Phi^n$ с постоянными коэффициентами. При этом $\vec{U} = [C_0 C_1 C_2^2, \dots, C_n n]^T$.

Во всех случаях ряд Маклорена сходится, но скорость сходимости зависит от вида воздействия. Например, при постоянном воздействии для получения точности до 9-го знака достаточно удержание 15 членов ряда, а при воздействии, выражаемом полиномом 4-й степени, получение той же точности обеспечивается удержанием 20 членов ряда Маклорена.

Само собой разумеется, что при решении граничных задач в форме начальных параметров ползучести остальные исходные уравнения (статические, геометрические и неразрывности) необходимо представлять в той же форме, подразумевая под перемещениями, деформациями, напряжениями и объемными силами их векторы начальных параметров.

1. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести.— М.— Л.: Гостехтеориздат, 1952.— 324 с.
2. Прокопович И. Е. Влияние длительных процессов на напряженное и деформированное состояние сооружения.— М.: Госстройиздат, 1963.— 260 с.
3. Арутюнян Н. Х., Александровский С. В. Современное состояние развития теории ползучести бетона // Ползучесть и усадка бетона и железобетон. конструкций.— М.: Стройиздат, 1976.— С. 5—96.
4. Щербаков Е. Н. Математическая модель ползучести бетона для расчетов железобетонных конструкций // Эффектив. способы расчета железобетон. конструкций транспорт. сооружений.— М., 1987.— С. 4—22.
5. Яценко Е. А. Метод начальных параметров ползучести в теории железобетона // Исследования по механике строит. конструкций и материалов.— Л.: ЛИСИ, 1986.— С. 66—72.

Поступила в редколлегию 21.11.89

УДК 539.3

Г. Н. Агеева

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ АЭРОДРОМОВ

Современные покрытия взлетно-посадочных полос аэродромов представляют собой сложные многослойные конструкции. Проблема их расчета связана с учетом существенных различий в жесткостях слоев и условий контакта между ними.

В практике проектирования применяют методики расчета, основанные на аналитических и численных методах. Нормы проектирования (СНиП 2.05.08—85), являющиеся итогом аналитических решений теории плит на упругом основании Винклера, используют математическую модель многослойной конструкции, основанную на допущении равенства прогибов слоев и несжимаемости их волокон

в направлении действия поперечной нагрузки, что дает завышенные значения расчетных изгибающих моментов в сравнении с экспериментальными данными.

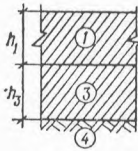
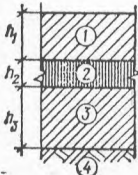
Более точная постановка возможна при использовании численных методов. В частности, дискретно-континуальная схема метода конечных элементов, реализованная в вычислительном комплексе ЛИРА, позволяет оценить влияние ряда механических факторов, характерных для многослойной изгибаемой конструкции. Теоретические результаты расчета по уточненной теории с учетом эффекта поперечного обжатия [1] двухслойной конструкции аэродромного покрытия дают качественную картину напряженно-деформированного состояния плиты и согласовываются с данными эксперимента [2]. Вследствие этого указанная методика может быть использована для исследования напряженно-деформированного состояния тонкослойных цементобетонных покрытий.

Разработка тонкослойных конструкций вызвана необходимостью поверхностного усиления существующего покрытия, неисчерпавшего своей несущей способности, когда устройство массивного слоя нецелесообразно и экономически не выгодно.

Цель настоящего исследования — определение оптимальной толщины верхнего тонкого слоя, характера влияния его толщины на состояние конструкции в целом, сравнение работы двух конструктивных схем: с разделительной прослойкой и без нее.

Была рассчитана конструкция опытного участка, разработанная коллективом ГПИ и НИИ ГА «Аэропроект» и реализованная в одном из аэропортов. В соответствии с поставленными задачами толщина верхнего слоя варьировалась в пределах 6—24 см и рассматривались две конструктивные схемы, приведенные в табл. 1. Расчеты выполнялись в предположении, что покрытие и искусственное основание работают совместно без проскальзывания.

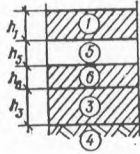
Т а б л и ц а 1

№ п/п	Схема конструкции	Материал слоев	Характеристика слоев
1		1 — цементобетон, М400 2 — разделительная прослойка 3 — бетон В7,5 4 — подстилающий грунт	$E_1 = 3,24 \times 10^4$ МПа $E_2 = 100$ МПа, $E_3 = 1,76 \times 10^3$ МПа, $\nu_1 = \nu_3 = 0,15$; $\nu_2 = 0,35$, $h_1 = 0,06 \dots 0,24$ м, $h_2 = 0,002$ м, $h_3 = 0,30$ м, $C_1 = 210$ МПа/м.
2			

№ п/п	Схема конструкции	Материал слоев	Характеристика слоев
-------	-------------------	----------------	----------------------

Армированное сечение

3

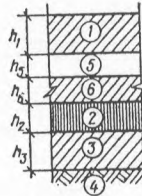


1 — цементобетон М400
2 — разделительная прослойка
3 — бетон В7,5

$E_1 = E_6 = 3,24 \times 10^4$ МПа
 $E_2 = 100$ МПа,
 $E_3 = 1,76 \times 10^4$ МПа,
 $E_5 = 17 \times 10^4$ МПа,

$\nu_1 = \nu_3 = 0,15$;
 $\nu_2 = 0,35$;
 $\nu_5 = 0,30$;

4



4 — подстилающий грунт
5 — арматура
6 — защитный слой

$h_1 = 0,0507$ м,
 $h_2 = 0,002$ м,
 $h_3 = 0,30$ м,
 $h_5 = 0,0393$ м,
 $h_6 = 0,03$ м.
 $C_1 = 210$ МПа/м.

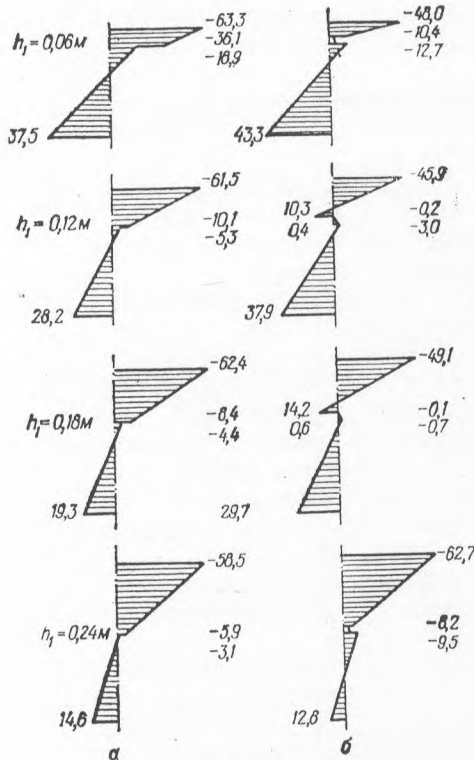


Рис. 1

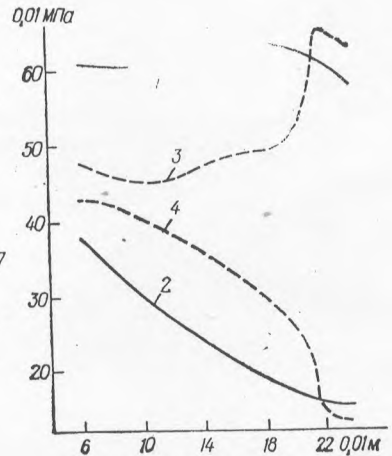


Рис. 2

Тело плиты размером в плане $7,5 \times 7,5$ м разбивалось на сеть прямоугольных конечных элементов. Нагрузка от воздушного судна прикладывалась к центральному элементу, площадь которого эквивалентна отпечатку пневматика главной опоры. При описании конструкции покрытия использовался многослойный конечный элемент, разработанный в НИИАСС Госстроя УССР совместно с кафедрой сопротивления материалов КАДИ, позволяющий учесть жесткости всех слоев и взаимное их обжатие. В результате расчета получены эпюры нормальных напряжений. Некоторые результаты показаны на рис. 1.

Вследствие возникновения максимальных напряжений в верхнем слое покрытия они будут служить критерием оценки состояния. Зависимости изменения максимальных напряжений в верхнем и нижнем слоях от толщины верхнего слоя показаны на рис. 2. Кривые 1, 3 соответствуют верхнему слою, 2, 4 — нижнему. Пунктиром обозначены зависимости для конструкции с прослойкой.

Графики свидетельствуют о наличии толщин, при которых напряжения в верхних волокнах слоя усиления минимальны: для монолитно связанных слоев — 8 см, для конструкции с прослойкой — 8—16 см. Соответственно максимальные напряжения возникают при толщинах 16 и 22 см. Дальнейшее наращивание слоя увеличения напряжений не вызывает, работа конструкции меняется — верхний слой работает как однослойное покрытие на упрочненном основании.

Массивность верхнего слоя определяет величину передаваемой нагрузки на грунт: наращивание верхнего слоя вызывает снижение напряжений на контакте с основанием.

Следует отметить общее снижение величин напряжений в верхнем слое и увеличение в нижнем при введении неупругой прокладки между несущими слоями, что моделирует один из способов устройства многослойных конструкций аэродромных одежд.

Сопоставление величин напряжений, возникающих в покрытии при различном приложении нагрузки, позволило в конструкции с разделительной прослойкой выявить зону толщин, при которых верхний слой работает на растяжение и сжатие, — 10—20 см. Размеры растянутой зоны с ростом толщины слоя изменяются от 1,15 до 4,3 см по высоте. Выявленная особенность тонкого слоя требует учета возможности трещинообразований, и в качестве мер по ограничению их развития может рассматриваться армирование нижней зоны. Влияние арматуры рассчитано на примере покрытия с толщиной верхнего слоя 12 см, армированного тремя рядами сеток.

В расчетной схеме арматура описывалась слоем приведенной толщины с жесткостными характеристиками, соответствующими стали (табл. 1). Результаты приведены в табл. 2.

Анализ расчетных данных свидетельствует о том, что арматура, вводимая в растянутую зону, не воспринимает растягивающих напряжений, нейтральная ось совпадает с арматурным слоем, следовательно, основное назначение арматуры — ограничение развития трещин, исключаящее нарушение контакта между слоями.

Т а б л и ц а 2

Конструктивный слой	Монолитная конструкция		Конструкция в прослойке	
	Напряжение, тм/м ²			
	на верхней границе	на нижней границе	на верхней границе	на нижней границе
Верхний	-61,454	-10,120	-45,857	10,277
Прослойка			0,415	-0,231
Нижний	-5,310	28,175	-3,008	37,966

При условии армирования нижней зоны верхнего слоя

Верхний	-56,454	-34,193	-37,711	-11,533
Арматура	-217,850	-105,690	-73,484	56,892
Защитный слой	-16,588	-8,428	8,929	18,921
Прослойка			0,763	0,074
Нижний	-4,422	23,334	0,967	37,455

Примечание. Знак «-» при цифре обозначает, что напряжение соответствует сжатию.

Армирование монолитной конструкции практически не меняет характера работы покрытия, снижая величины напряжений в слоях.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

при анализе напряженно-деформированного состояния тонкослойных покрытий выявлены оптимальные размеры слоя усиления, при которых максимальные напряжения в верхних волокнах слоя минимальны;

отмечено общее снижение напряжений в верхнем слое и увеличение в нижнем при возведении покрытия без сращивания слоев;

армирование нижней зоны тонкого слоя позволяет ограничить развитие трещин, исключив нарушение контакта между слоями;

армирование монолитной конструкции приводит к снижению величин напряжений в слоях.

1. Пискунов В. Г., Присяжнюк В. К. Расчет неоднородных плит на упругом неоднородном полупространстве // Строит. механика и расчет сооружений.— 1985.— № 1.— С. 25—28.
2. Напряженно-деформированное состояние слоистого покрытия аэродромной одежды / В. Г. Пискунов, В. К. Присяжнюк, В. Е. Вериженко и др. // Изв. вузов. Стр-во и архитектура.— 1984.— № 12.— С. 108—110.

Поступила в редколлегию 04.11.89

УДК 624.073

В. А. Кульчицкий, С. В. Иванков, С. А. Буянов, Л. Б. Пчелкина
ВЛИЯНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ ВЫРАВНИВАЮЩИХ ПРОСЛОЕК
НА РАБОТУ ЖЕСТКИХ СЛОЕВ УСИЛЕНИЯ
АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ

Одной из важнейших задач в области строительства аэродромных покрытий является задача создания жестких слоев усиления, отвечающих требованиям надежности и долговечности. Актуальность