Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 http://naukovedenie.ru/

Том 8, №1 (2016) http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-1

URL статьи: http://naukovedenie.ru/PDF/30TVN116.pdf

DOI: 10.15862/30TVN116 (http://dx.doi.org/10.15862/30TVN116)

Статья опубликована 02.03.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:
Овчинников И.Г., Попов А.Н., Масалыкин А.Н. Напряженно-деформированное состояние сборных аэродромных покрытий усиленных асфальтобетоном в модельном представлении // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №1 (2016) http://naukovedenie.ru/PDF/30TVN116.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/30TVN116

УДК 625.717

Овчинников Игорь Георгиевич
ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия, г. Пермь[1]
Доктор технических наук, профессор
E-mail: soni.81@mail.ru

Попов Александр Николаевич
ФГКВОУ ВПО «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Россия, г. Воронеж
Заведующий кафедрой
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: popalnik@mail.ru

Масалыкин Александр Николаевич
ФГКВОУ ВПО «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Россия, г. Воронеж
Преподаватель
E-mail: masalykin-alex@mail.ru

Напряженно-деформированное состояние сборных аэродромных покрытий усиленных асфальтобетоном в модельном представлении

Аннотация. Основной причиной образования отраженных трещин в асфальтобетонном слое усиления сборных аэродромных покрытий являются температурные деформации конструктивных слоев покрытия вызванные их охлаждением в зимний период. В первую очередь образованию отраженных трещин подвержен асфальтобетонный слой, имеющий наименьшую толщину и прочность, в сравнении с остальными слоями. Представлены результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния многослойного аэродромного покрытия. Развиты представления о работе верхнего асфальтобетонного слоя при температурных и силовых воздействиях. Выявлена закономерность развития деформации слоя усиления аэродромного покрытия, свободного от внешнего механического воздействия, при нестационарном градиенте температуры. Произведен учет термоупругих характеристик материала конструкции, оценено влияние толщины асфальтобетонного слоя на динамику развития напряжений и деформаций в указанном слое.

[1] 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 54

Ключевые слова: аэродромное покрытие; слой усиления; температурное воздействие; напряженно-деформированное состояние

Введение. Основной причиной образования отраженных трещин в асфальтобетонном слое усиления сборных аэродромных покрытий являются температурные деформации конструктивных слоев покрытия вызванные их охлаждением в зимний период. В первую очередь образованию отраженных трещин подвержен асфальтобетонный слой, имеющий наименьшую толщину и прочность, в сравнении с остальными слоями.

В работах [1, 2] показано, что появление и локализация внутренних напряжений в асфальтобетоне над швом или трещиной является следствием резких смен температуры воздуха и обусловливает превышение предельного состояния материала в покрытии.

Ведомственным документом СП 121.13330.2012 «Аэродромы» регламентирован учёт повторяемости суммарных температурных напряжений при проектировании асфальтобетонных слоев наращивания жестких аэродромных покрытий, хотя сама методика расчета температурного режима не представлена. Предлагается производить учёт температурных нагрузок с помощью коэффициентов условий работы, что не позволяет количественно оценить их влияние на эксплуатационно-техническое состояние элементов покрытия.

Изначально напряжения, возникающие в асфальтобетонном покрытии при охлаждении, определялись по стандартным зависимостям для температурных напряжений в упругих телах. В работе Н.Н. Иванова [3] предложено определять напряжения, возникающие в асфальтобетоне, с учетом реологических свойств материала:

$$\sigma = \frac{4\alpha \cdot \theta \cdot E}{1-\nu}, \tag{1}$$

где α – линейный коэффициент температурного расширения; θ – максимально возможное падение температуры за 1 час; ν – коэффициент Пуассона (учитывался не всегда).

Предложенная зависимость (1) была усовершенствована Н.В. Горелышевым в работе [4], где косвенно учитывалось явление релаксации:

$$\sigma = \frac{4 \cdot (\alpha \cdot \theta \cdot E - m \cdot \varepsilon_n)}{1-\nu}, \tag{2}$$

где ε_n – ползучесть асфальтобетона; m – коэффициент пропорциональности.

Позднее А.Р. Красноперов в своей работе [5], используя способ определения температурной трещиностойкости асфальтобетонного слоя усиления с учетом длины участка свободного контакта, установил аналитическую зависимость для определения полных температурных растягивающих напряжений в покрытии:

$$\sigma_n^{полн} = \frac{\alpha_o \Delta T_o - \tau_o L + 2\tau_n l_o / 2h_o E_o}{1/E_n \left(L/2l_o - 1\right) + h_n / h_o E_o} + \beta \alpha_n \cdot \Delta T_n \cdot E_n, \tag{3}$$

где $\sigma_n^{полн}$ – полные (собственные и за счет основания) температурные растягивающие напряжения в покрытии; α_o и α_n – линейные коэффициенты температурного расширения основания и покрытия, соответственно; h_o и h_n – толщины основания и покрытия; E_o и E_n – расчетные модули деформации основания и покрытия; ΔT_o и ΔT_n – расчетные перепады температур основания и покрытия; L – длина плит основания; l_o – длина скользящего контакта покрытия с основанием (на одном крае плиты); β – поправочный (понижающий)

коэффициент, отражающий степень податливости соединения покрытия с основанием; τ_0 и τ_n – осредненные напряжения трения на границе с основанием и покрытием.

В ВСН 197-91 представлена методика расчета напряжений $\boldsymbol{\sigma_t}$ зависящих от перепада температуры по толщине нижнего слоя:

$$\sigma_t = \frac{\alpha \cdot E \cdot \Delta t_б}{2}, \tag{4}$$

где $\Delta t_б$ – перепад температуры в течение суток в плите основания; E – модуль упругости; α – линейный коэффициент температурного расширения.

Обобщением и анализом приведенных методик установлено, что все они несвободны от недостатков. Во-первых, не учитывается изменение температурных полей по глубине многослойной конструкции.

Во-вторых, в расчетах игнорируются касательные напряжения, возникающие на границе сращивания слоев покрытия и/или основания.

В-третьих, аналитические зависимости не учитывают динамического изменения значений физико-механических характеристик асфальтобетона обусловленного сезонным градиентом температуры.

В связи с этим методика прогнозирования изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) асфальтобетонных слоев наращивания сборных аэродромных покрытий учитывающая динамическое изменение значений физико-механических характеристик асфальтобетона вследствие сезонного градиента температуры требует дальнейшего совершенствования.

1. Теоретические основы моделирования развития деформаций многослойного аэродромного покрытия при температурном воздействии

Процесс образования трещин в асфальтобетонных слоях усиления можно описать с использованием различных теорий: теории упругости; теории, основанной на критерии Мизеса; метода Шмидта; теории, разработанной в центральной лаборатории мостов и дорог Франции и др. [6, 7, 8]. Указанные теории в той или иной степени учитывают градацию состояния асфальтобетона от вязко-упругого до хрупкого.

Очевидно, что при отрицательной температуре асфальтобетон перестает быть пластичным и возможен переход к твердому хрупкому состоянию. При определенных условиях, например при $T_в$ меньше минус 20^0С асфальтобетон приобретает свойства сплошного твердого тела. Указанное обстоятельство определяет возможность применения положений теории упругости для моделирования НДС многослойного аэродромного покрытия в условиях градиента температуры путем решения квазистатической задачи термоупругости, без учета эффекта связности полей температур и деформаций, а также сил инерции, обусловленных нестационарным температурным полем.

Модельное представление аэродромного покрытия − многослойный упругий пакет, лежащий на жестком основании. Пакет состоит из асфальтобетонного слоя и трещиновато-блочного основания, инициатора трещин.

В общем случае, при температурно зависимом изменении НДС трехмерного твердого тела, свободного от внешних механических воздействий (объемные силы не учитываются), возникают перемещения u, υ и w [9].

При модельном представлении в аэродромном покрытии выделяется плоскость единичной толщины *dh*. Допущение: мгновенная температура *dT* в момент времени *dτ*, ввиду малой толщины плоскости стационарна (T_{dh} = const). Поскольку размеры рассматриваемых единичных плоскостей в плане многократно превышают толщину, то перемещения любой точки будут происходить исключительно вдоль осей *X* и *Y*, а перемещениями вдоль оси *h* можно пренебречь:

$$u = u(x, y, \tau), \;\; \upsilon = \upsilon(x, y, \tau), \;\; w = 0. \tag{5}$$

Тогда зависимость относительных деформаций от перемещений принимает вид:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial \upsilon}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial \upsilon}{\partial x}, \quad \varepsilon_h = \gamma_{yh} = \gamma_{hx} = 0, \tag{6}$$

где ε_x, ε_y, ε_h, – относительные деформации; γ_{xy}, γ_{yh}, γ_{hx}, – угловые деформации.

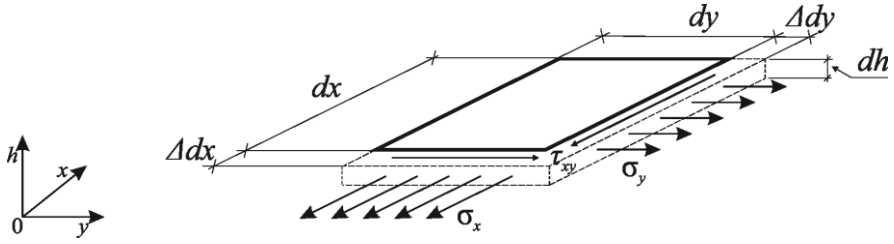


Рис. 1. *Расчетная схема единичного слоя*

Выделим единичный блок в плоскости аэродромного покрытия со сторонами *dx, dy, dh* (рис. 1). Воздействие температурного поля формирует в покрытии плоское деформированное состояние с составляющими деформации: Δdx, Δdy и γ_{xy}. При наличии указанных деформаций в элементарном объеме будут возникать нормальные и касательные напряжения σ_x, σ_y и τ_{xy}.

Относительные тепловые деформации элемента ε, в соответствии с гипотезой Неймана, составят:

$$\varepsilon_x^{(T)} = \varepsilon_y^{(T)} = \alpha T, \tag{7}$$

где α – линейный коэффициент температурного расширения; T – температура единичного объема; $\varepsilon_x^{(T)}, \varepsilon_y^{(T)}$ – относительные тепловые деформации в декартовой системе координат.

При неравномерном нагреве (охлаждении) упругого тела, а также при закреплении одной из его сторон, в нем возникают термоупругие напряжения, обусловленные несвободным расширением (сжатием).

Общая деформация на основании соотношений Дюгамеля – Неймана будет складываться из связи термоупругих напряжений и деформаций, и выражаться следующими равенствами:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left(\sigma_x - \nu\sigma_y\right) + \alpha T, \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E}\left(\sigma_y - \nu\sigma_x\right) + \alpha T, \quad \gamma_{xy} = \frac{1}{G}\tau_{xy}, \tag{8}$$

где E – модуль упругости; ν – коэффициент Пуассона; $G = E/2(1+\nu)$ – модуль сдвига.

Выразив из (8) напряжения через деформации, получим [9]:

$$\sigma_x = 2G\varepsilon_x + \lambda e - (3\lambda + 2G)\alpha T,$$
$$\sigma_y = 2G\varepsilon_y + \lambda e - (3\lambda + 2G)\alpha T, \qquad (9)$$
$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy},$$

где $\lambda = 2\nu G/1 - 2\nu$ – коэффициент, не зависящий температуры; e – объемная деформация.

Уравнения равновесия для случая плоской задачи имеют вид:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} = 0. \qquad (10)$$

Подставив выражение (9) в (10) с использованием (6), выразим относительные и объемные деформации через перемещения.

В результате получим общую закономерность развития деформации слоя аэродромного покрытия свободного от внешнего механического воздействия в условиях нестационарного температурного поля, с учетом динамики изменения характеристик материала конструкции:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{1}{(3\lambda+2G)\alpha}\left[(\lambda+G)\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \upsilon}{\partial y}\right) + G\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)\right],$$
$$\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{1}{(3\lambda+2G)\alpha}\left[(\lambda+G)\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \upsilon}{\partial y}\right) + G\left(\frac{\partial^2 \upsilon}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \upsilon}{\partial y^2}\right)\right], \qquad (11)$$

где T – распределение температуры в слое аэродромного покрытия; u и υ – перемещения относительно осей X и Y, соответственно; λ − коэффициент, не зависящий температуры; G − модуль сдвига.

Левая часть выражения (11) описывает температурное поле конструкции, а правая часть – деформации, возникающие при воздействии указанного поля, с учетом термоупругих характеристик материала конструкции слоя.

Решение уравнения (11) при учете реальных начальных и граничных условий аналитическим путем достаточно громоздко. В связи с этим решение реализовано методом конечных элементов в программном комплексе COMSOL Multiphysics в соответствии с алгоритмом, представленном на рис. 2.

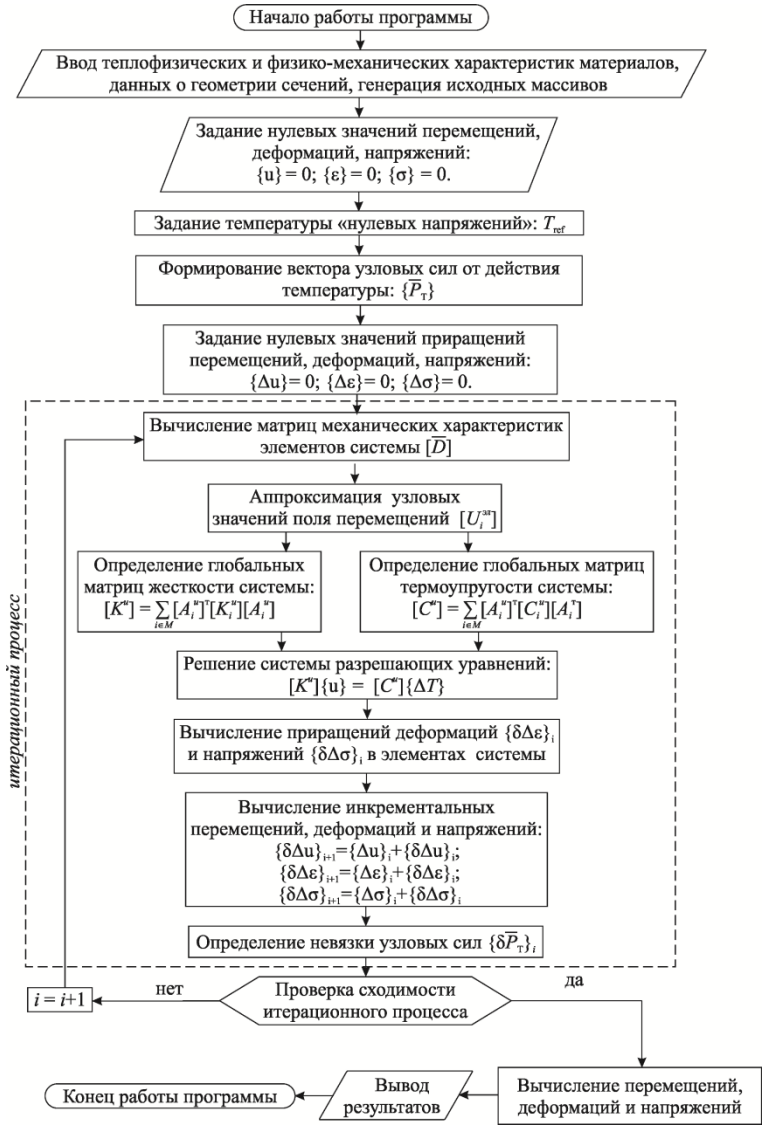


Рис. 2. *Блок – схема моделирования НДС конструкции аэродромного покрытия*

В программном комплексе используется итеративная процедура метода Ньютона-Рафсона, объединяющая тепловой и прочностной анализы и предусматривающая совместное термо-прочностное решение, обусловленное наличием как тепловых, так и прочностных степеней свободы конечных элементов.

Средства термо-прочностного анализа программы COMSOL Multiphysics позволяют использовать результаты решения задачи теплообмена при оценке НДС конструкции. Тепловая нагрузка задана как определяющая. Последовательными итерациями уточняется совместное решение тепловой и прочностной задач, по достижении установленного критерия сходимости решения. Сходимость контролируется по величине невязки вектора нагрузок (потока тепла) и/или по изменению температуры от итерации к итерации. Для производства расчетов использовали модули Geomechanics (геомеханика), Heat Transfer (теплоперенос) и Radiation (радиация), тип расчета − Time Dependet (нестационарный).

2. Обоснование расчетной схемы и анализ результатов

В качестве объекта моделирования принята конструкция аэродромного покрытия включающая: слой усиления из плотного асфальтобетона; сборное аэродромное покрытие из плит ПАГ-14; слой щебеночного искусственного основания. Значения физико-механических характеристик материалов слоев аэродромного покрытия представлены в таблице 1.

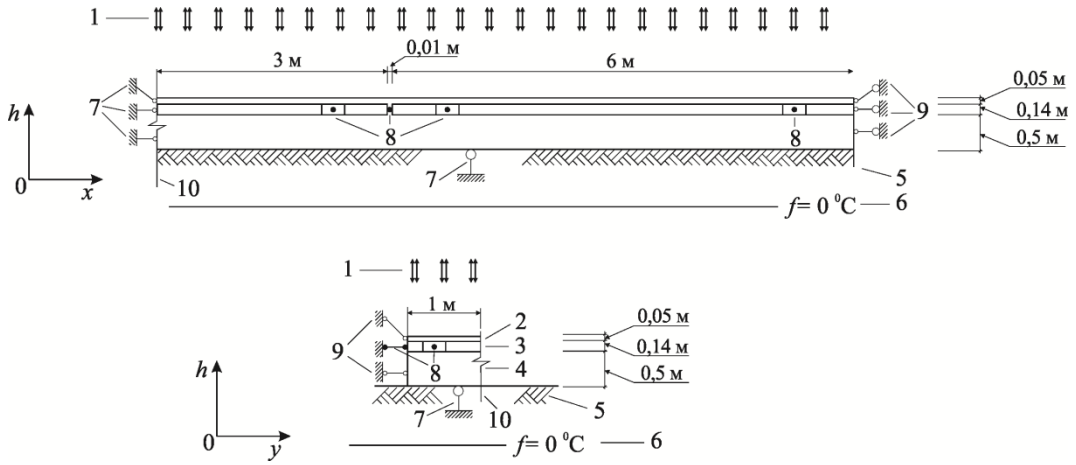
Таблица 1

Значения физико-механических характеристик слоев аэродромного покрытия

Наименование слоя	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м^3	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Теплопроводность, Вт/(м·^{0}С)
Асфальтобетон плотный мелкозернистый на битуме БНД 60/90	0,05…0,2	2100	3200	0,3	0,9
ПАГ-14	0,14	2500	30400	0,2	1,86
Щебень фракционированный	0,5	1800	400	0,25	0,11

Варьируемым параметром, оказывающим влияние на температурный режим и изменение напряженно-деформированного состояния конструкции в целом назначили толщину асфальтобетонного слоя. Параметр варьировали от 0,05 до 0,2 м.

Расчетная схема многослойного аэродромного покрытия с введенными допущениями моделирования представлена на рис. 3. Расположение подошвы и кровли слоев основания задано горизонтальным. Нижняя граница основания жестко закреплена, что исключает горизонтальные и вертикальные перемещения и вращение участка. В расчетах учтен собственный вес покрытия. Выравнивающую прослойку в модели не учитывали. Передача усилий между плитами в деформационных швах осуществляли посредством введения шарниров, расположенных в местах стыковых и монтажных соединений.



1 – факторы, воздействующие на покрытие; 2 – асфальтобетонный слой усиления; 3 – плита ПАГ-14; 4 – щебеночное основание; 5 – грунт естественного основания; 6 – линия нулевых температурных колебаний; 7 – жесткая заделка; 8 – неподвижные шарниры (сварные соединения); 9 – подвижные шарниры; 10 – ось симметрии

Рис. 3. *Расчетная схема многослойного аэродромного покрытия для моделирования изменения НДС*

Неподвижность во всех направлениях по левой и нижней границам участка обеспечивали введением жесткой заделки.

Моделирование производили с численными данными, приведенными в табл. 2 [10].

Принятые допущения:

- начальные температуры покрытия и подошвы конструкции постоянны;
- конвективный и радиационный теплообмен происходит только через верхний слой конструкции, остальные – изолированы;
- кондуктивный теплообмен за счет теплопроводности покрытия;
- материал покрытия принят термоупругим;
- температура нулевых напряжений в покрытии – 5°С [13];
- контакты между слоями идеальны.

Моделирование осуществляли поэтапно.

На первом этапе моделировали температурный режим многослойного аэродромного покрытия, на втором этапе – напряженно-деформированное состояние указанного покрытия при температурном воздействии.

Таблица 2

Исходные данные для проведения расчетов

Параметр	Значения
местоположение	Россия Московская область
координаты	55°49'41"N 37°55'23"E
месяц/2015 г.	январь
часовой пояс	+4
цикл измерений, ч	24 ч
тепловой поток солнечного излучения, Вт/м² [11]	1000
глубина затухания колебаний температуры, м [10]	0,8
температура на глубине, °С [10]	2,2
коэффициент поглощения солнечной радиации [12]	0,89
коэффициент поверхностного излучения [12]	0,93
коэффициент, учитывающий ослабление солнечного облучения вследствие запыленности приземной атмосферы воздуха [12]	0,6
характеристики режима отрицательной температуры, °С	$T_в^{ср} = -7{,}9$; $\Delta T_в^{min} = 0{,}8$; $\Delta T_в^{max} = 22{,}4$

В результате моделирования получили распределение температуры по толщине аэродромного покрытия; значения нормальных и касательных напряжений в слоях конструкции и величины деформаций железобетонных плит покрытия, обусловленные градиентом температуры. Графически результаты численного моделирования представлены на рис. 4 и 5.

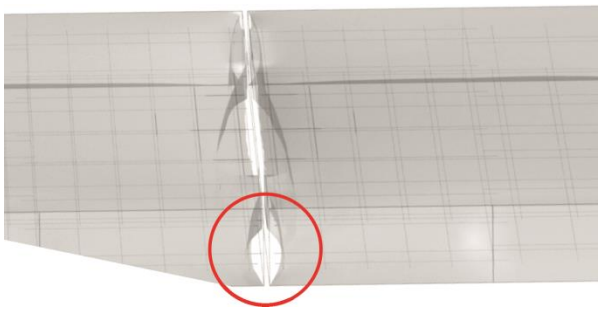
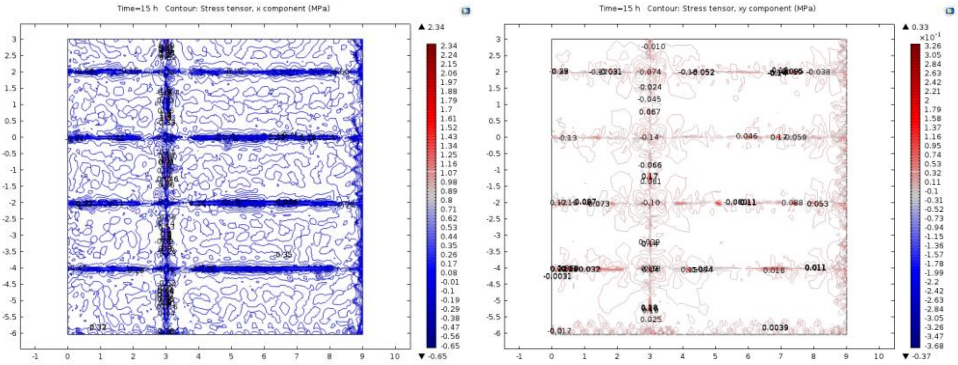


Рис. 4. *Объемные деформации конструктивных слоев аэродромного покрытия*



а) *б)*

а – нормальные напряжения; б – касательные напряжения

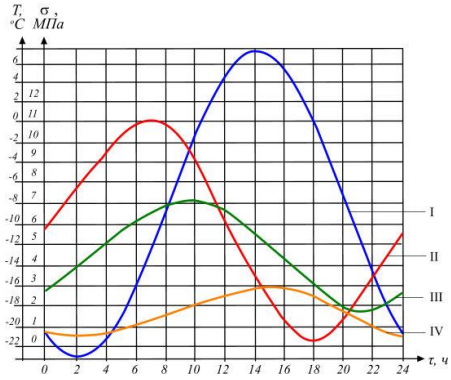
Рис. 5. *Изополя напряжений в плоскости аэродромного покрытия*

Напряжения в покрытии от воздействия температуры по глубине конструкции изменялись неоднозначно.

В железобетонной плите наблюдалось незначительное возрастание напряжений практически по линейному закону, при этом напряжения возрастали от 0 до 3,6 МПа.

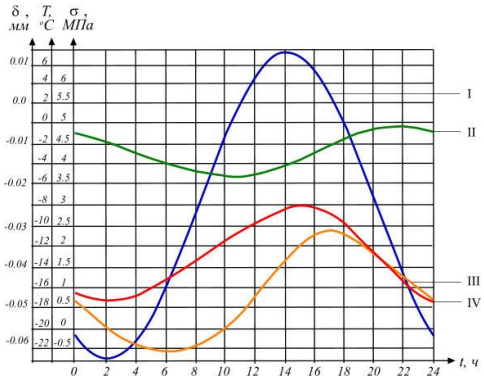
На границе сращивания двух слоев отмечали скачок напряжений, обусловленный различием значений физико-механических характеристик используемых материалов. При этом величина скачка напрямую зависела от толщины слоя усиления: при H_{sup} = 5 см, σ_{max} = 11,02 МПа; H_{sup} = 13 см, σ_{max} = 7,32 МПа; H_{sup} = 20 см, σ_{max} = 1,63 МПа.

Графическая интерпретация полученных результатов представлена на рис. 6, 7.



I – температура воздуха; II, III, IV – напряжения при H_{sup} = 5, 13 и 20 см, соответственно

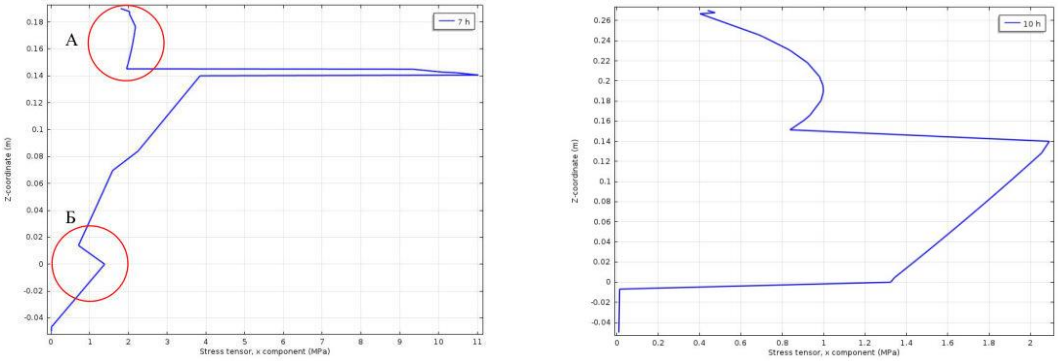
Рис. 6. *Динамика изменения нормальных напряжений на границе контакта слоев в покрытии за 24 часовой цикл*



I – температура воздуха; II – температура на границе контакта слоев; III – деформации; IV – нормальные напряжения

Рис. 7. *Динамика процессов, происходящих в теле многослойного аэродромного покрытия за 24 часовой цикл при H_{sup} = 20 см*

Моделирование позволило установить, что в асфальтобетонном слое в зависимости от времени наблюдения (период нагрева или охлаждения), могут возникать как растягивающие, так и сжимающие напряжения, величина которых зависит от толщины слоя и температуры воздуха. Значения напряжений, например, в узле А изменяются от минус 1,35 до 2,61 МПа (рис. 8, а).



а) *б)*

Рис. 8. *Распределение нормальных напряжений по глубине при расположении точки измерения у торца плиты и H_{sup} = 5 см (а), при центральном расположении точки измерения и H_{sup} = 13 см (б)*

Незначительное скачкообразное увеличение напряжений на границе контакта железобетонной плиты и искусственного основания (в пределах 1 МПа) обусловлено наличием сил трения $\tau_{осн}$. Однако в целом на динамику развития деформаций указанное обстоятельство влияния не оказывало. Это проиллюстрировано ломаной кривой в районе узла Б на рис. 8, а. Аналогичная картина наблюдалась и в центре плиты, хотя скачка напряжений на границе контакта плиты и искусственного основания не было. В то же время на границе контакта со слоем наращивания напряжения значительно ниже, чем на краевых участках. Это свидетельство того, что деформации в железобетонной плите происходят относительно виртуального неподвижного центра, в котором касательные напряжения минимальные, а напряжения в асфальтобетонном слое вызваны только собственными температурными деформациями.

Отсюда следует, что рост напряжений в асфальтобетонном слое над краем железобетонной плиты обусловлен градиентом напряжений по толщине покрытия в целом. Указанное обстоятельство проиллюстрировано на рис. 8, б.

Деформации железобетонных плит при температурном воздействии аналогично напряжениям, развиваются по закону близкому гармоническому и следуют за ходом температуры в покрытии с выраженными максимумами и минимумами. Динамика процессов, происходящих в теле многослойного аэродромного покрытия за 24 часовой цикл при H_{sup} = 20 см, представлена на рис. 7.

Показано, что значения деформаций уменьшаются при увеличении толщины асфальтобетонного слоя. Так при H_{sup} = 5 см $\Delta\delta$ = 0,054 мм, а при H_{sup} = 20 см − $\Delta\delta$ = 0,031 мм.

С увеличением толщины верхнего слоя температурный градиент искусственного основания оказывает влияние на диаграмму деформирования плит ПАГ в большей степени, чем градиент температуры наружного воздуха. Если при H_{sup} = 5 см максимальное значение

деформации соответствует максимальной температуре на границе сращивания слоев покрытия, то при H_{sup} = 20 см эти показатели не соответствуют друг другу, и максимальное удлинение плиты наблюдается до достижения максимума температуры покрытия. При достижении максимальной температуры, деформации плит изменяют знак.

Более подробно по тематике технического регулирования линейных транспортных сооружений можно посмотреть в работах [14-23].

Выводы

1. Установлена закономерность развития деформации слоя усиления аэродромного покрытия, свободного от внешнего механического воздействия, при нестационарном градиенте температуры, с учетом термоупругих характеристик материала конструкции.

2. Смоделирован процесс изменения напряженно-деформированного состояния слоистой конструкции во времени и по глубине и оценено влияние толщины асфальтобетонного слоя на динамику развития напряжений и деформаций в указанном слое.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кульчицкий В.А. Аэродромные покрытия. Современный взгляд / В.А. Кульчицкий, В.А. Макагонов, Н.Б. Васильев [и др.] – М.: Физико-математическая литература, 2002. 528 с.
2. Шульгинский И.П. Усиление существующих цементобетонных покрытий асфальтобетоном на аэродромах / И.П. Шульгинский // Труды СоюздорНИИ. – М.: Транспорт, 1981. Вып. 47. С. 47–52.
3. Иванов Н.Н. Причины образования трещин в асфальтобетонных покрытиях // Труды МАДИ. – 1953. Вып. 15. С. 3–11.
4. Горелышев Н.В., Пантелеев Ф.Н. О пластичности дорожного асфальтового бетона // Тр. МАДИ. – М., 1953, вып. 15. С. 138–152.
5. Красноперов А.Р. Учет влияния конструктивных параметров дорожных одежд на отраженной трещинообразование в асфальтобетонных слоях усиления: дисс. … канд. техн. наук: 05.23.11 / Красноперов Александр Рудольфович. – М., 2000. 152 с.
6. Богуславский А.М. Оценка сдвигоустойчивости и трещиностойкости асфальтобетонных покрытий // Автомобильные дороги. 1973. №9. С. 6–8.
7. Ладыгин Б.И., Вдовиченко С.Л., Куприянчик А.А. Расчет перспективного срока службы асфальтобетона по трещиностойкости с учетом его старения // В сб. Автомобильный транспорт и дороги. – Минск: Высш. школа, 1975. Вып. 2. С. 217–221.
8. Рассказов А.О., Бондарь А.Г., Бабков А.В., Ищенко Ю.В. К расчету напряженно-деформированного состояния и устойчивости слоистых оболочек с учетом реальных свойств материалов слоев // Прикл. механика. 1992. № 2. С. 40–48.
9. Тимошенко С.П., Гудьер Д. Теория упругости. – М.: Наука, 1975. 560 с.
10. Климат Москвы за последние 30 лет / Под. ред. М.А. Петросянца. – М.: Изд-во МГУ, 1989. 94 с.
11. Матвеев Л.И. Физика атмосферы. – С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 2000. 778 с.
12. Горецкий Л.И. Эксплуатация аэродромов. – М.: Транспорт, 1986. – 280 с.
13. Hartl G. Zur Frage der Langsdruckkrafte in Betonfahrbahndecktn / Strasse und Autobahn, 1985, № 5, pp. 200–204.
14. Гладков В.Ю. О содержательности учета риска и аспектах менеджмента качества в федеральном законе «О техническом регулировании» / Кочетков А.В., Гладков В.Ю., Челпанов И.Б. // Дорожная держава. 2007. № 5, 6.
15. Гладков В.Ю. Совершенствование системы менеджмента качества дорожного хозяйства на основе формирования и достижения требуемых системных свойств / В.Ю. Гладков, А.В. Кочетков, А.А. Цымбалов, Н.Е. Кокодеева // Дороги и мосты. 2007. № 4-5. С. 81-89.
16. Методологические основы оценки технических рисков в дорожном хозяйстве / Кокодеева Н.Е., Талалай В.В., Кочетков А.В., Янковский Л.В., Аржанухина С.П. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2011. № 3. С. 38-49.

17. Диагностика и паспортизация элементов улично-дорожной сети системой видеокомпьютерного сканирования / Васильев Ю.Э., Беляков А.Б., Кочетков А.В., Беляев Д.С. // Интернет-журнал Науковедение. 2013. № 3 (16). С. 55.

18. Проблемы долговечности цементных бетонов. Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Кочетков А.В., Васильев Ю.Э., Каменев В.В. Строительные материалы. 2011. № 5. С. 38-41.

19. Статистические методы контроля качества при производстве цементобетона и цементобетонных смесей / Васильев Ю.Э., Полянский В.Г., Соколова Е.Р., Гарибов Р.Б., Кочетков А.В., Янковский Л.В. Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. С. 101.

20. Состояние современного методического обеспечения расчета и конструирования дорожных одежд. Кочетков А.В., Кокодеева Н.Е., Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Шашков И.Г. // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2011. № 1. С. 65-74.

21. Применение геоимплантатных конструкций для создания экопаркингов / Янковский Л.В., Кочетков А.В. // Экология и промышленность России. 2011. № 5. С. 32-34.

22. Методические основы гармонического анализа круглограм / Захаров О.В., Погораздов В.В., Кочетков А.В. // Метрология. 2004. № 6. С. 3.

23. Состояние нормативного обеспечения инновационной деятельности дорожного хозяйства / Аржанухина С.П., Сухов А.А., Кочетков А.В., Карпеев С.В. // Качество. Инновации. Образование. 2010. № 9. С. 40.

24. Нормативное и технологическое развитие инновационной деятельности дорожного хозяйства / Аржанухина С.П., Кочетков А.В., Козин А.С., Стрижевский Д.А.// Интернет-журнал Науковедение. 2012. № 4 (13). С. 69.

25. Выбор требований к противогололедным материалам для зимнего содержания автомобильных дорог мегаполиса / Аржанухина С.П., Гарибов Р.Б., Кочетков А.В., Янковский Л.В., Глухов Т.А., Бобков А.В. // Вода: химия и экология. 2013. № 4 (58). С. 106-115.

26. Адаптивное управление подвижностью при дискретном производстве цементобетонных смесей / Васильев Ю.Э., Каменев В.В., Кочетков А.В., Шляфер В.Л. // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2011. № 2. С. 96-100.

27. Проектирование структуры информационного обеспечения системы менеджмента качества дорожного хозяйства / Кочетков А.В., Гладков В.Ю., Немчинов Д.М. // Интернет-журнал Науковедение. 2013. № 3 (16). С. 72.

28. Совершенствование отраслевой системы диагностики автомобильных дорог / Ермаков М.Л., Карпеев С.В., Кочетков А.В., Аржанухина С.П. // Дорожная держава. 2011. № 30. С. 38.

29. Методологические основы оценки технических рисков / Кокодеева Н.Е., Талалай В.В., Кочетков А.В., Аржанухина С.П., Янковский Л.В. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 28. С. 126-134.

Ovchinnikov Igoh Georgievich
Perm national research polytechnical university, Russia, Perm
E-mail: soni.81@mail.ru

Popov Alexandr Nikolaevich
Military and air academy of a name of professor N.E. Zhukovskogo and Yu.A. Gagarin, Russia, Voroneg
E-mail: igoshashkov@yandex.ru

Masalikin Alexandr Nikolaevich
Military and air academy of a name of professor N.E. Zhukovskogo and Yu.A. Gagarin, Russia, Voroneg
E-mail: salykin-alex@mail.ru

Intense deformed state combined airfield coverings strengthened asphalt concrete in model representation

Abstract. Temperature deformations of constructive coat layers caused them by cooling during winter period are the main reason for formation of the reflected cracks in an asphalt concrete layer of strengthening of combined airfield coverings. First of all the asphalt concrete layer having the smallest thickness and durability in comparison with other layers is subject to formation of the reflected cracks. Results of numerical modeling of the intense deformed condition of a multilayered airfield covering are presented. Ideas of work of the top asphalt concrete layer at temperature and power influences are developed. Regularity of development of deformation of a layer of strengthening of an airfield covering, free from external mechanical influence is revealed, at a non-stationary gradient of temperature. The accounting of thermoelastic characteristics of material of a design is made, influence of thickness of an asphalt concrete layer on dynamics of development of tension and deformations in the specified layer is estimated.

Keywords: an airfield covering; a strengthening layer; temperature influence; the intense deformed state

REFERENCES

1. Kul'chitskiy V.A. Aerodromnye pokrytiya. Sovremennyy vzglyad / V.A. Kul'chitskiy, V.A. Makagonov, N.B. Vasil'ev [i dr.] – M.: Fiziko-matematicheskaya literatura, 2002. 528 s.
2. Shul'ginskiy I.P. Usilenie sushchestvuyushchikh tsementobetonnykh pokrytiy asfal'tobetonom na aerodromakh / I.P. Shul'ginskiy // Trudy SoyuzdorNII. – M.: Transport, 1981. Vyp. 47. S. 47–52.
3. Ivanov N.N. Prichiny obrazovaniya treshchin v asfal'tobetonnykh pokrytiyakh // Trudy MADI. – 1953. Vyp. 15. S. 3–11.
4. Gorelyshev N.V., Panteleev F.N. O plastichnosti dorozhnogo asfal'tovogo betona // Tr. MADI. – M., 1953, vyp. 15. S. 138–152.
5. Krasnoperov A.R. Uchet vliyaniya konstruktivnykh parametrov dorozhnykh odezhd na otrazhennoy treshchinoobrazovanie v asfal'tobetonnykh sloyakh usileniya: diss. … kand. tekhn. nauk: 05.23.11 / Krasnoperov Aleksandr Rudol'fovich. – M., 2000. 152 s.
6. Boguslavskiy A.M. Otsenka sdvigoustoychivosti i treshchinostoykosti asfal'tobetonnykh pokrytiy // Avtomobil'nye dorogi. 1973. №9. S. 6–8.
7. Ladygin B.I., Vdovichenko S.L., Kupriyanchik A.A. Raschet perspektivnogo sroka sluzhby asfal'tobetona po treshchinostoykosti s uchetom ego stareniya // V sb. Avtomobil'nyy transport i dorogi. – Minsk: Vyssh. shkola, 1975. Vyp. 2. S. 217–221.
8. Rasskazov A.O., Bondar' A.G., Babkov A.V., Ishchenko Yu.V. K raschetu napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya i ustoychivosti sloistykh obolochek s uchetom real'nykh svoystv materialov sloev // Prikl. mekhanika. 1992. № 2. C. 40–48.
9. Timoshenko S.P., Gud'er D. Teoriya uprugosti. – M.: Nauka, 1975. 560 s.
10. Klimat Moskvy za poslednie 30 let / Pod. red. M.A. Petrosyantsa. – M.: Izd-vo MGU, 1989. 94 s.
11. Matveev L.I. Fizika atmosfery. – S.-Pb.: Gidrometeoizdat, 2000. 778 s.
12. Goretskiy L.I. Ekspluatatsiya aerodromov. – M.: Transport, 1986. – 280 s.
13. Hartl G. Zur Frage der Langsdruckkrafte in Betonfahrbahndecktn / Strasse und Autobahn, 1985, № 5, pp. 200-204.
14. Gladkov V.Yu. O soderzhatel'nosti ucheta riska i aspektakh menedzhmenta kachestva v federal'nom zakone «O tekhnicheskom regulirovanii» / Kochetkov A.V., Gladkov V.Yu., Chelpanov I.B. // Dorozhnaya derzhava. 2007. № 5, 6.
15. Gladkov V.Yu. Sovershenstvovanie sistemy menedzhmenta kachestva dorozhnogo khozyaystva na osnove formirovaniya i dostizheniya trebuemykh sistemnykh svoystv / V.Yu. Gladkov, A.V. Kochetkov, A.A. Tsymbalov, N.E. Kokodeeva // Dorogi i mosty. 2007. № 4-5. S. 81-89.
16. Metodologicheskie osnovy otsenki tekhnicheskikh riskov v dorozhnom khozyaystve / Kokodeeva N.E., Talalay V.V., Kochetkov A.V., Yankovskiy L.V., Arzhanukhina S.P. // Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika. 2011. № 3. S. 38-49.
17. Diagnostika i pasportizatsiya elementov ulichno-dorozhnoy seti sistemoy videokomp'yuternogo skanirovaniya / Vasil'ev Yu.E., Belyakov A.B., Kochetkov A.V., Belyaev D.S. // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2013. № 3 (16). S. 55.

18. Problemy dolgovechnosti tsementnykh betonov. Rapoport P.B., Rapoport N.V., Kochetkov A.V., Vasil'ev Yu.E., Kamenev V.V. Stroitel'nye materialy. 2011. № 5. S. 38-41.

19. Statisticheskie metody kontrolya kachestva pri proizvodstve tsementobetona i tsementobetonnykh smesey / Vasil'ev Yu.E., Polyanskiy V.G., Sokolova E.R., Garibov R.B., Kochetkov A.V., Yankovskiy L.V. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. № 4. S. 101.

20. Sostoyanie sovremennogo metodicheskogo obespecheniya rascheta i konstruirovaniya dorozhnykh odezhd. Kochetkov A.V., Kokodeeva N.E., Rapoport P.B., Rapoport N.V., Shashkov I.G. // Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya. 2011. № 1. S. 65-74.

21. Primenenie geoimplantatnykh konstruktsiy dlya sozdaniya ekoparkingov / Yankovskiy L.V., Kochetkov A.V. // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2011. № 5. S. 32-34.

22. Metodicheskie osnovy garmonicheskogo analiza kruglogram / Zakharov O.V., Pogorazdov V.V., Kochetkov A.V. // Metrologiya. 2004. № 6. S. 3.

23. Sostoyanie normativnogo obespecheniya innovatsionnoy deyatel'nosti dorozhnogo khozyaystva / Arzhanukhina S.P., Sukhov A.A., Kochetkov A.V., Karpeev S.V. // Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie. 2010. № 9. S. 40.

24. Normativnoe i tekhnologicheskoe razvitie innovatsionnoy deyatel'nosti dorozhnogo khozyaystva / Arzhanukhina S.P., Kochetkov A.V., Kozin A.S., Strizhevskiy D.A.// Internet-zhurnal Naukovedenie. 2012. № 4 (13). S. 69.

25. Vybor trebovaniy k protivogololednym materialam dlya zimnego soderzhaniya avtomobil'nykh dorog megapolisa / Arzhanukhina S.P., Garibov R.B., Kochetkov A.V., Yankovskiy L.V., Glukhov T.A., Bobkov A.V. // Voda: khimiya i ekologiya. 2013. № 4 (58). S. 106-115.

26. Adaptivnoe upravlenie podvizhnost'yu pri diskretnom proizvodstve tsementobetonnykh smesey / Vasil'ev Yu.E., Kamenev V.V., Kochetkov A.V., Shlyafer V.L. // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2011. № 2. S. 96-100.

27. Proektirovanie struktury informatsionnogo obespecheniya sistemy menedzhmenta kachestva dorozhnogo khozyaystva / Kochetkov A.V., Gladkov V.Yu., Nemchinov D.M. // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2013. № 3 (16). S. 72.

28. Sovershenstvovanie otraslevoy sistemy diagnostiki avtomobil'nykh dorog / Ermakov M.L., Karpeev S.V., Kochetkov A.V., Arzhanukhina S.P. // Dorozhnaya derzhava. 2011. № 30. S. 38.

29. Metodologicheskie osnovy otsenki tekhnicheskikh riskov / Kokodeeva N.E., Talalay V.V., Kochetkov A.V., Arzhanukhina S.P., Yankovskiy L.V. // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2012. № 28. S. 126-134.