

Для цитирования: Муртазалиев Г.М., Батдалов М.М., Акаев А.И., Булгаков А.И., Пайзулаев М.М. Расчет и конструирование ячеистых несущих слоев покрытий взлетно-посадочных полос аэродромов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019;46 (4):176-185. DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-4-176-185

For citation: G.M. Murtazaliev, M.M. Batdalov, A.I. Akayev, A.I. Bulgakov, M.M. Payzulaev. Calculation and design of cellular carrying layers of airfield runway pavements. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2019; 46 (4):176-185. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-4-176-185

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624. 016.5

DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-4-176-185

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЯЧЕИСТЫХ НЕСУЩИХ СЛОЕВ ПОКРЫТИЙ ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНЫХ ПОЛОС АЭРОДРОМОВ

Муртазалиев Г.М.¹, Батдалов М.М.¹, Акаев А.И.², Булгаков А.И.¹, Пайзулаев М.М.¹

¹Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, Россия,

²Дагестанский государственный университет народного хозяйства,
²367008, г. Махачкала, ул. Д. Атаева, 5, Россия

Резюме. Цель. Необходимость обеспечения надежного функционирования дорогостоящих аэродромных сооружений ставит большие задачи перед изыскателями, проектировщиками, строителями и эксплуатационниками этих сооружений. Целью исследования является предложенная авторами модель технологического решения несущего слоя искусственных покрытий взлетно-посадочных полос аэродромов (ИВППА) в виде сотовой структуры из заклпнутых стальных листов заполненной бетоном и методика оценки прочности и определения жесткостных параметров его заполнителя. **Метод.** Предложена методика оценки предельной прочности и определения реальных жесткостных параметров несущих слоев ИВППА при конструктивном решении вопроса о работе бетона в стесненных условиях («эффект обоймы») от воздействия многократно-повторных эксплуатационных самолетных нагрузок. Она базируется на основных положениях деформационной теории железобетона, разработанной Бондаренко В.М. и развитых применительно к объемно напряженному состоянию железобетонных конструкций в работах Г.А. Гениева, К.Л. Сурова и Н.И., Римшина В.И. **Результат.** Получена аналитическая зависимость для установления дискретного значения, обобщенного (интегрального) параметра деформации материала несущего слоя, т.е. уравнение механического состояния сталежелезобетона в условиях сложного напряженного состояния и многократно-повторном приложении эксплуатационной самолетной нагрузки, в произвольной напряженной точке ИВППА, с учетом влияния изменения прочности, армирования, температурно-влажностных и реологических факторов. **Вывод.** Внедрение в проектные решения несущих слоев ИВППА новых технологических принципов армирования и укладки бетона, позволяет в значительной степени повысить их несущую способность и жесткость за счет перераспределения энергии воздействия и эффективного использования свойств материалов конструкций при загрузении.

Ключевые слова: жесткие покрытия искусственных взлетно-посадочных полос аэродромов (ИВППА), несущий слой ИВППА, структура, эксплуатационные воздействия, расчетная модель, предельные состояния ИВППА, расчет прочности и жесткости, объемно напряженное состояние, критерий прочности, интенсивность предельных напряжений, обобщенный жесткостной параметр деформации, мгновенный модуль деформации, деформации ползучести

BUILDING AND ARCHITECTURE

CALCULATION AND DESIGN OF CELLULAR CARRYING LAYERS OF AIRFIELD
RUNWAY PAVEMENTS

G.M. Murtazaliev¹, M.M. Batdalov¹, A.I. Akayev², A.I. Bulgakov¹, M.M. Payzulaev¹

¹Daghestan State Technical University,

¹70 Shamil Ave., Makhachkala 367026, Russia,

²Daghestan State University of National Economy,

²5 D. Ataeva St., Mahachkala 367008, Russia

Abstract. Objectives. The need to ensure the reliable functioning of expensive airfield structures poses great challenges for surveyors, designers, builders and operators of these structures. These tasks are complicated by the continuous development of aircraft, an increase in the intensity of their movement, an increase in mass, take-off and landing characteristics of aircraft and the degree of operational impact of aircraft on airfield structures. The aim of the study is the technological solution model proposed by the authors for the carrier layer of artificial runway pavement in the form of a honeycomb structure of closed steel sheets filled with concrete along with a method for assessing the strength and determining the rigidity of its aggregate. **Method.** A method is proposed for assessing the ultimate strength and determining the real stiffness parameters of structural layers of a runway with a constructive solution to the question of concrete work in cramped conditions ("cage effect") from the impact of manifold repeated operational aircraft loads. This method is based on the fundamental principles of the deformation theory of reinforced concrete, developed by V.M. Bondarenko and elaborated in relation to the volumetric stress state of reinforced concrete structures in the works by G.A. Geniev, K.L. Surov and V.I. Rimshin. **Result.** An analytical dependency is obtained for establishing a discrete value, a generalised (integral) parameter of the material deformation of the carrier layer, i.e. the equation of the mechanical state of steel-reinforced concrete in a complex stress state, as well as the repeated application of an operational aircraft load at an arbitrary stress point of the artificial runway pavement taking into account the influence of changes in strength, reinforcement, temperature, humidity and rheological factors. **Conclusion.** The introduction of new technological principles for reinforcing and concrete laying into the design solutions of the bearing layers of artificial runway pavement allows their bearing capacity and rigidity to be significantly increased due to the redistribution of impact energy and the efficient use of the properties of structural materials during loading.

Keywords: artificial runway pavement, bearing layer, structure, operational impacts, calculation model, strength and stiffness calculation, volumetric stress state, strength criterion, intensity of ultimate stresses, generalised stiffness strain parameter, instantaneous deformation modulus, creep strain

Введение. Результаты проведенных ранее авторами исследований поведения несущих слоев многослойных искусственных покрытий взлётно-посадочных полос аэродромов (ИВП-ПА) под воздействием эксплуатационных нагрузок воздушных судов (нагрузка от пневмоколес шасси самолета) показали, что увеличение несущей способности и долговечности ИВП-ПА без дополнительного увеличения расхода цемента или применении цементов высоких марок, а также без увеличения процента армирования является актуальной проблемой.

Традиционные конструктивные решения покрытий [1] в виде многослойных плит характеризуются способностью работать на изгиб (рис. 1). ИВП-ПА воспринимают растягивающие и сжимающие усилия и распределяют их на большие площади грунтовых оснований. При этом зона вовлечения в работу материала конструкции от слоя к слою выглядит в виде пирамиды с наклоном образующих в пределах 30-50°.

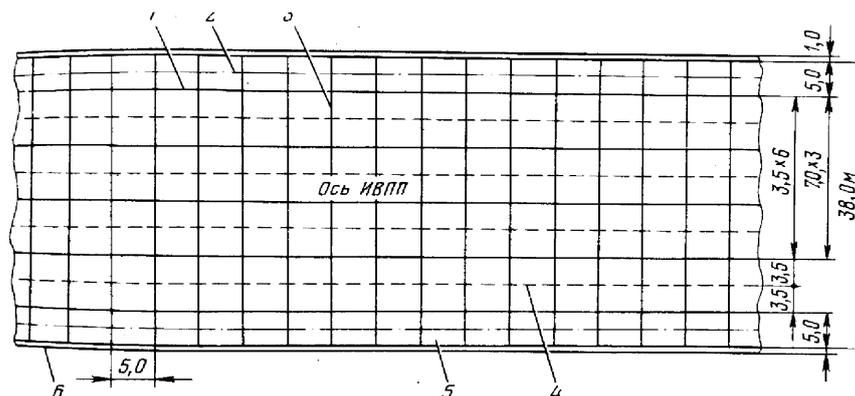


Рис.1. Схема расположения стандартных прямоугольных плит на бетонном покрытии ИВППА:

1-продольный шов; 2-ось лотка; 3 - поперечные швы сжатия; 4 - продольные ложные швы; 5-плита лоткового ряда; 6 – отмотка

Fig. 1. The layout of standard rectangular slabs on the concrete runway IVPPA:

1-longitudinal seam; 2-axis tray; 3 - transverse compression joints; 4 - longitudinal false seams; 5-plate of a tray row; 6 - blind area

Существенным недостатком работы таких конструкций под нагрузкой является низкая прочность бетона на растяжение и малая растяжимость до разрыва. Деформация удлинения бетона к моменту разрушения от разрыва составляют около 0,15 мм/м. При таких деформациях удлинении напряжения в арматуре достигают около 30 МПа.

Поэтому задолго до полного исчерпания несущей способности арматуры, по истечении сравнительно малого времени эксплуатации (менее 10 лет), в растянутой зоне покрытия ИВППА поверхностный слой бетона покрыт сеткой трещин.

При взлете и посадке различных типов самолетов пылевые частицы отшелушившегося слоя, попадая в двигатели, приводят к коррозионным разрушениям лопаток турбин, механическим повреждениям отдельных несущих и управляемых узлов самолетов, которые могут привести к их авариям с человеческими жертвами.

Одновременно высокотемпературные потоки от сопел двигателей, особенно при взлете, в течение малого времени создают градиенты температуры на поверхности бетона, а после взлета происходит обратный процесс, интенсивно разрушая тончайшие слои бетона. Кроме того, выхлопные газы содержат химические добавки, создающие агрессивную среду, отрицательно влияющую на бетон.

Циклическое действие температуры и многократно-повторное статическое и динамическое действие колес воздушных судов приводит к сложному напряженному состоянию верхнего (несущего) слоя полосы. Уменьшение защитного слоя, потеря сцепления бетона с арматурой снижает эффективность работы многокомпонентного покрытия аэродромов, как цельного железобетонного массива.

Конструирование верхнего слоя в виде тонких плит не позволяет значительно повышать жесткость нижних слоев, так как, как следствие, уменьшение прогибов верхних слоев может привести к появлению предельных для бетона растягивающих напряжений в верхних гранях конструкции.

Исследования показали, что ударная нагрузка при посадках самолета по сравнению со статической менее опасна, так как из-за кратковременного действия ее в конкретном расчетном месте в плите покрытия не успевают в полной мере развиться деформации из-за вязкопластических свойств, присущих как бетону, так и большинству видов естественных грунтовых оснований. Динамическое воздействие от ударов о неровности покрытия колес движущегося самолета учитывают введением в расчет коэффициента динамичности. При расчетах толщины жестких аэродромных покрытий исходят из решений строительной механики для плит, лежащих на упругих основаниях. Определение внутренних усилий в плитах сводится к тому, что находят

функцию эпюр реактивного отпора (реакцию) основания от заданной нагрузки. При этом обычно принимают, что осадка поверхности основания в точности совпадает с прогибами плиты под нагрузкой.

Постановка задачи. Основной целью исследований являлась повышение несущей способности, жесткости и долговечности железобетонных несущих слоев многослойных искусственных покрытий взлётно-посадочных полос аэродромов (ИВППА) внедрением в проектные решения новых технологических принципов армирования и укладки бетона, позволяющих в значительной степени перераспределять энергию воздействия и эффективнее использовать свойства материалов конструкций при загрузении.

Задачей исследований являлось нахождение пути управления процессом деформирования покрытия ИВППА при сложных условиях загрузки так, чтобы деформировались не отдельные участки несущего слоя, а происходило бы перераспределение усилий, указанных выше, на большую площадь покрытия, с более нагруженных участков на менее нагруженные.

Весьма перспективным способом решения данной проблемы является представление несущих слоев ИВПП в виде структуры из дискретных, замкнутых изолированных элементов (рис. 2).

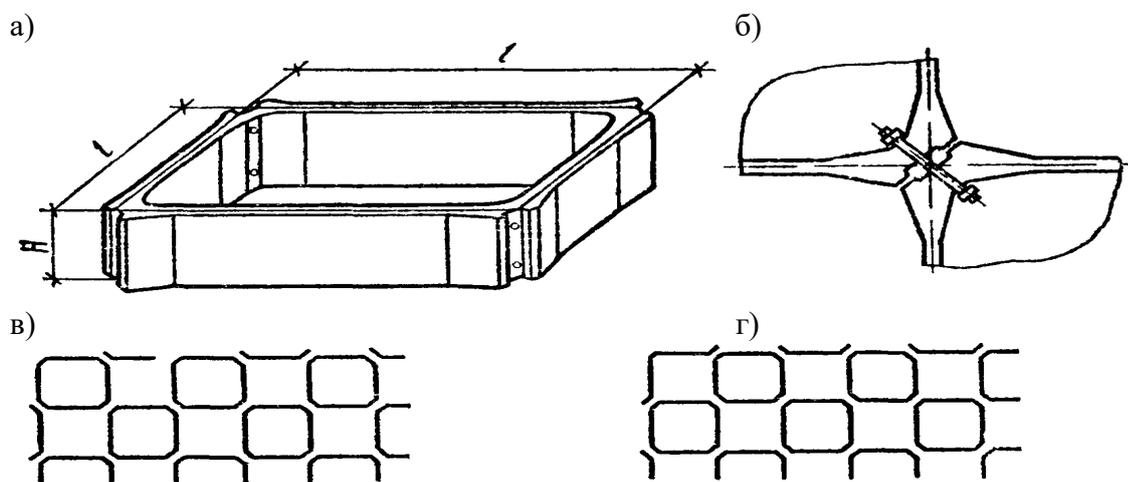


Рис. 2. Сборный стальной армирующий каркас бетонного покрытия ИВППА:
а) - сборный объемный элемент; б) - стык элементов; в), г) – раскладка элементов в четном и нечетном рядах

Fig. 2. Precast steel reinforcing frame concrete cover IVPPA:
а) - prefabricated volumetric element; б) - a junction of elements; в), г) - layout of elements in even and odd rows

При этом, за счет оптимизации размеров структуры и характеристик материалов можно создать условия, при которых материал заполнителя, находящийся в стесненных условиях (эффект обоймы), при воздействии нагрузок от самолетов будет работать не как изгибаемый элемент, а находиться в условиях всестороннего сжатия [2÷6]. Это позволит значительно повысить жесткость и прочность основного материала искусственных покрытий – бетона или железобетона, снизить прогибы не только верхних несущих слоев, но и всего покрытия в целом [2÷11].

Авторами предлагаются варианты расчета подобных конструкций, работающих под нагрузкой в условиях объемного напряженного состояния и на этой основе, создать технологические принципы конструирования несущих слоев ИВППА из бетона с сотовым сборно-металлическим заполнителем.

Методы исследования. За основу методики оценки предельной прочности и определения реальных жесткостных параметров несущих слоев ИВППА при конструктивном решении вопроса о работе бетона в условиях трехосного напряженного состояния при многократно-повторном статическом воздействии эксплуатационных самолетных нагрузок приняты иссле-

дования [6]. Она базируется на основных положениях деформационной теории железобетона, разработанных авторами [2,3] развитых применительно к объемно напряженному состоянию массивных железобетонных конструкций в работах Г.А. Гениева, К.Л. Сулова и Н.И., Римшина В.И. [4÷6], а также на положениях, принятых в работах [7÷18].

Отметим основные предпосылки и допущения, принятые при построении феноменологических зависимостей для определения прочности и жесткости бетона СЖБК:

- материал среды предполагается сплошным нелинейно деформируемым, изотропным;
- предполагается простое нагружение материала;
- предполагается, что прочность бетона в каждой точке является переменной величиной и определяется исключительно характером и величиной напряженного состояния в последней, т.е. геометрически интерпретируется, как некоторая поверхность тела вращения в системе координат главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$;
- началу координат соответствует ненапряженное состояние бетона, при котором $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 0$;
- напряженные состояния, характеризующиеся точками внутри этой поверхности, не вызывают разрушения материала;
- принимается положение теории малых упругопластических деформаций Безухова Н.И. и Ильюшина А.А., согласно которому, независимо от типа напряженного состояния для каждого материала имеется вполне определенная зависимость между интенсивностью напряжений и интенсивностью деформаций, которая для случая простого нагружения может быть заменена диаграммой « $\sigma - \varepsilon$ » для случая одноосного растяжения;
- физические соотношения для жесткостных характеристик, связывающие инварианты напряженного и деформированного состояния, справедливы именно на участках всех траекторий простого нагружения от начала координат до точки пересечения траекторий предельной поверхности.

Обсуждение результатов. Предельно допустимые напряжения для объемно напряженного бетона с общетеоретических позиций [4] (в смысле интенсивности предельных напряжений) вычисляются для каждой напряженной точки согласно [5], как функции от главных напряжений по зависимости:

$$|\sigma_i|_{1,2} = kR_{bn}[(\xi + \mu)(\pm\alpha + \beta) \pm ((\xi + \mu)^2(\pm1 + \alpha + \beta)^2 - \xi\mu(\pm1 + \alpha^2 + \beta^2 - \alpha - \beta - \alpha\beta))^{0.5}]/2(\pm1 + \alpha^2 + \beta^2 - \alpha - \beta - \alpha\beta) \quad (1)$$

где $\sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3 = 1 : \alpha : \beta$ (с учетом знаков главных напряжений и, что $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$); $\xi = 1.1$ – эмпирический коэффициент; $\mu = 0.2$ – коэффициент Пуассона бетона; k – коэффициент, учитывающий сужение предельной поверхности прочности при интенсивном объемном деформировании. В практических расчетах [5÷7] предлагают определять k по следующей формуле:

$$k = 2^{-0.5}((1 - |\alpha|)^2 + (1 - |\beta|)^2 + (|\alpha| - |\beta|)^2)^{0.5} \quad (2)$$

где $|\alpha| = \sigma_2/\sigma_1$, $|\beta| = \sigma_3/\sigma_1$.

Критерий хорошо согласуется с результатами исследований О.Я. Берга, М.И. Браиловского, Г.А. Гениева, Н.И. Карпенко, В.И. Римшина, Г.Г. Соломенцева, К.Л. Сулова и пригоден для всех восьми октантов области прочности. Начальные значения главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ предполагаются заранее вычисленными из решения инвариантного кубического уравнения:

$$\sigma^3 - I_1 \sigma^2 + I_2 \sigma - I_3 = 0 \quad (3)$$

где I_1, I_2, I_3 – инвариантные соотношения теории упругости.

Влияние армирования на тензор напряжений бетона учитывается путем проецирования заданных безразмерных параметров армирования μ_x, μ_y, μ_z по направлению координатных осей на направления главных напряжений. В соответствии с правилами тензорного исчисления

$$\mu_k = \mu_x l_k(l_k + 2m_k) + \mu_y m_k(m_k + 2n_k) + \mu_z n_k(n_k + 2l_k) \quad (4)$$

Значения направляющих косинусов для главных площадок l_k, m_k, n_k ($k = 1, 2$ и 3) определяются на основании известных соотношений механики деформируемого твердого тела, как параметры, зависящие от тензора напряжений

$$m_k = \frac{1}{(1 + \alpha_k^2 + \beta_k^2)^{0.5}}; \quad n_k = -\beta_k m_k; \quad l_k = \alpha_k m_k,$$

$$\text{где } \beta_k = \frac{(\sigma_x - \sigma_k)(\sigma_y - \sigma_k) - \tau_{xy}^2}{(\sigma_x - \sigma_k)\tau_{zy} - \tau_{xy}\tau_{zx}}; \quad \alpha_k = \frac{\beta_k \tau_{zx} - \tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_k}; \quad k = 1, 2, 3. \quad (5)$$

Здесь σ_k – одно из главных напряжений (σ_1, σ_2 или σ_3), а $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{zx}, \tau_{zy}$ – компоненты тензора напряжений.

Распределение напряжений между бетоном и арматурой по направлению действия главных напряжений согласно [5, 6] следует учитывать введением интегрального коэффициента ψ_{sk}

$$\sigma_{bk} = \sigma_k (1 - \psi_{sk}) \quad \text{и} \quad \sigma_{sk} = \sigma_k \psi_{sk} / \mu_k, \quad (6)$$

При этом коэффициенты ψ_{sk} определяют по единой формуле как до, так и после образования трещин

$$\psi_{sk} = 1 - \alpha (1 + n_k^* \mu_k), \quad (7)$$

где $n_k^* = E_{sk} / E_{bk}^*$ – отношение секущих модулей деформации стали и бетона.

При отсутствии трещин значение параметра α выражается:

$$\alpha = (1 + n_k^* \mu_k)^{-2} < 1, \quad (8)$$

а при наличии таковых $\alpha = R_{bt,ser}^3 / \sigma_k^3 < 1$ (9)

При реализации итерационно-циклического метода «мгновенно-упругих» решений для 1 – го цикла вычислений по формулам (3) – (7) следует корректировать напряжения в бетоне для всех 3 – х главных направлений, а затем переходить к следующему шагу, т.е. скорректировать критерий прочности по формуле (3), значения направляющих косинусов для главных площадок по (5) и коэффициенты распределения напряжений по (7)

Формула для установления дискретного значения, обобщенного (интегрального) параметра деформации материала несущего слоя, т.е. уравнение механического состояния бетона в условиях сложного напряженного состояния и многократно-повторном приложении эксплуатационной нагрузки принимаем в виде предложенным автором [5]

$$E_b^*(t, t_0, \sigma_i, |\sigma_i|, \mu_k) = \{ \delta_y(t, t_0) + \frac{S_m^0(\sigma_i, |\sigma_i|, t_0)}{E_m^0(t)} + \quad (10)$$

$$+ 1/\sigma_i^{(m)} \sum_{n=1}^m [\sigma_i^{(n-1)} S_n^0(\xi_{n-1}) - \sigma_i^{(n)} S_n^0(\xi_n)] C^*(t_m, t_{n-1}) \}^{-1}$$

где $\delta_y(t, t_0) = \varepsilon_{tw}(t, t_0) / \sigma_i$ – единичные деформации (температурно-влажностные) несилового происхождения (нормируемые величины); $\xi_n = \sigma_i^{(n)} / |\sigma_i|$ – уровень напряжения в n – ом нагружении; $\sigma_i^{(n)}$ – интенсивность напряжений, определяемая по известным формулам теории упругости; $|\sigma_i|$ – интенсивность предельных напряжений, определяемая по формуле (1).

Влияние силовых функций и нелинейности диаграммы «интенсивность напряжений – интенсивность деформаций» на жесткостной параметр учитывается выражениями: α_m^*

$$S_m^0(\sigma_i, |\sigma_i|, t_0) = \beta_0 \{ 1 + \eta_m^* [\sigma_i(t_0) / |\sigma_i|(t_0)] \} \quad (11)$$

$$S_n^0(\sigma_i, |\sigma_i|, t_0) = 1 + \eta_n^* [\sigma_i(t_0) / |\sigma_i|(t_0)]$$

где S_n^0 и S_m^0 – соответственно мгновенные и запаздывающие деформации; $\eta_m^*, \eta_n^*, \alpha_m^*, \alpha_n^*$ – феноменологические коэффициенты, зависящие от класса бетона; t_0 – фиксированный момент времени наблюдения; $\beta_0 = |\sigma_i| / R_{bn}(\tau) \geq 1$ (если $|\sigma_i| < R_{bn}(\tau)$, то $\beta_0 = 1$).

Звездочки у параметров нелинейности в выражениях (11), а также в остальных зависимостях означают, что соответствующие величины берутся не для натуральных, а для условных классов бетона, соответствующих вычисленному критерию прочности.

Выражения для мгновенного модуля деформации $E_M^0(t)$ и деформации ползучести $C^*(t, t_0)$, входящих в (10), определяются применительно к объемному напряженному состоянию, как и для одноосного, но с корректировкой входящих в них реологических коэффициентов γ, γ_1 и α . На основании исследований [2, 5] соотношение протекания частных деформаций при одноосном и трехосном напряженных состояниях материала описываются зависимостями: $\gamma^* = \nu\gamma; \gamma_1^* = \nu\gamma_1; \alpha^* = \nu\alpha$, где γ^*, γ_1^* и α^* - параметры нелинейности трехосного напряженного состояния, входящие в выражения:

$$\begin{aligned} E_M^0(t) &= E_M^0(\infty) (1 - \beta \cdot \exp(-\alpha^* t)); \\ C^*(t, t_0) &= 1/E_b^*(t_0) - 1/E_b^*(t) + C^*(\infty, t_0) \cdot \Omega(t_0) \cdot f(t, t_0); \\ C^*(\infty, t_0) &= C^N(\infty, t_0) \cdot \xi_{2c} \cdot \xi_{3c}; \\ \Omega(t_0) &= c + d \cdot \exp(-\gamma^* t_0); \\ f(t, t_0) &= 1 - k \cdot \exp(-\gamma_1^* (t - t_0)). \end{aligned} \quad (12)$$

Здесь ν – коэффициент, определяемый по формуле (2), основанной на полной математической аналогии выражений для интенсивности напряжений, величины и скорости деформаций.

Величины, входящие в зависимости (12) принимаются в зависимости от класса бетона, модуля открытой поверхности и влажности среды. Эти коэффициенты характеризуют скорости протекания частных деформаций и входят в качестве сомножителей в показатели степеней экспоненциальных функций, влияющих на значения величин $E_M^0(t)$ и $C^*(t, t_0)$.

Ввиду высокой ответственности конструкции ИВПП, предполагается использование листовой и арматурной стали с малыми деформациями ползучести. Тогда для функций нелинейности деформаций арматурной стали на основании [2] можно воспользоваться выражением:

$$E_{sk} = E_s^0 (1 + \nu_{ks} \eta_s^{\alpha_{ks}})^{-1}, \quad (13)$$

где $\eta_s = \sigma_s/R_{sk}$ не должна превышать 0,83 для преднапрягаемой арматуры класса А – VI; R_{sk} – расчетный предел сопротивления листовой или арматурной стали. Параметры нелинейности ν_{ks} и α_{ks} зависят от класса стали.

Для определения интегрального параметра деформации с учетом армирования можно использовать зависимость [5]

$$E_{bs}^* = E_b^*(\tau) (1 + \mu_i n_i) \text{ и } \mu_i n_i = 3^{-0.5} [\sum_{k=1}^3 (\mu_k n_k)^2]^{0.5}, \quad (14)$$

где $n_k = E_{sk}/E_b^*(\tau)$; E_{sk} – модуль деформации арматурной стали по направлению главных напряжений ($k = 1, 2, 3$); $E_b^*(\tau)$ – устанавливаемый по (10) интегральный модуль деформации бетона.

Вывод. Рассмотренные выше соотношения дают возможность определять с достаточной достоверностью дискретные значения обобщенного параметра деформации E_{bs}^* для сталежелезобетона при объемном напряженном состоянии, в произвольной напряженной точке ИВПП при действии эксплуатационных многократно-повторных статических нагрузок с учетом влияния изменения прочности, армирования, температурно-влажностных и реологических факторов.

Проведенные промежуточные численные эксперименты с использованием предложенной методики определения E_{bs}^* показывают, что внедрение в проектные решения несущих слоев ИВППА новых технологических принципов армирования и укладки бетона, позволяет в значительной степени повысить их несущую способность и жесткость за счет перераспределения энергии воздействия и эффективного использования свойств материалов конструкций при нагружении.

Необходимыми исходными данными для промежуточных вычислений являются значения компонент тензора напряжений. Эти компоненты, в свою очередь, зависят от обобщенного параметра деформации и частных производных последнего. Соответственно обе группы данных последовательно уточняются, в процессе реализации итерационно-циклического метода расчета.

Отдельной и актуальной проблемой является выбор оптимальных размеров и структуры (геометрии) армирующего стального каркаса, что безусловно, влияет на повышение параметров напряженно-деформированного состояния покрытия ИВППА.

Представляет интерес и подбор состава исходного материала для заполнителя ячеек, в решении которого огромное значение имеют как численные, так и опытные эксперименты.

Библиографический список:

1. Жесткие покрытия аэродромов и автомобильных дорог /Г.И. Глушков, В.Ф. Бабков, В.Е. Тригоны и др. М.: Транспорт, 1987. — 255 с.
2. Бондаренко В.М., Шагин А.Л. Расчет эффективных многокомпонентных конструкций. - М.: Стройиздат, 1987. – 175 с.
3. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. 413 с.
4. Гениев Г.А., Кисюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.
5. Сувор К.Л. Теория деформирования железобетона при сложных напряженных состояниях. Докт. дисс. – М.: 1984. – 288 с.
6. Сувор К.Л., Акаев А.И., Римшин В.И. К вопросу о расчете прочности и жесткости сталебетонных станин с учетом физической нелинейности // Бетон и железобетон. – 1996. № 1. с. 24 - 28.
7. Акаев А.И., Булгаков А.И. К вопросу о расчете прочности по нормальным сечениям аварийных изгибаемых элементов, усиленных обоями // Новое в расчетах и проектировании строительных конструкций: Материалы региональной научно-практической конференции, 29-30 октября 2009 г. / Махачкала: Изд-во ДГТУ, 2010. с. 50-60.
8. Амрахов З.Г, Батдалов М.М., Акаев А.И., Алиев М.Н. Исследование трехслойных плит, соединенных различными связями, на вибрационные воздействия // Новое в расчетах и проектировании строительных конструкций: Материалы региональной научно-практической конференции, 29-30 октября 2009 г. / Махачкала: Изд-во ДГТУ, 2010. с. 137-140.
9. Муртазалиев Г.М., Пайзулаев М.М. Методы теории катастроф в механике конструкций // Теория сооружений: достижения и проблемы: сб. статей по материалам II всероссийской научно-практической конференции, 27-28 ноября 2015 г. Махачкала / Махачкала: Изд-во ДГТУ, 2015. с. 5-14.
10. Акаев А. И., Пайзулаев М. М. Использование функции напряжений плоской задачи теории упругости для оценки напряженного состояния многокомпонентных балок // Теория сооружений: достижения и проблемы: сб. статей по материалам II всероссийской научно-практической конференции, 27-28 ноября 2015 г. Махачкала / Махачкала: Изд-во ДГТУ, 2015. с. 134-138.
11. Акаев А.И., Пайзулаев М.М. Расчет прочности по первой группе предельных состояний изгибаемых элементов, усиленных стальными обоями // Журнал «Научное обозрение». – Москва, 2015. №9. с. 112-115.
12. Красникова Н.М., Морозов И.М., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Оптимизация состава цементнобетона для аэродромных покрытий // Известия казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 2. С. 166-172.
13. Якупов М.И., Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г. Модифицированный мелкозернистый бетон для возведения монолитных покрытий взлетнопосадочных полос аэродромов // Известия казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 4 (26). С. 257-261.
14. Овчинников И.Г., Попов А.Н., Масалькин А.Н. Напряженно-деформированное состояние сборных аэродромных покрытий, усиленных асфальтобетоном в модельном представлении // Интернет-журнал науковедение. 2016. № 1 (32). С. 28.
15. Складов А.Н. Анализ характера силовой нагрузки воздушных судов при совершении взлетнопосадочных операций и его учет при эксплуатации аэродромных покрытий // Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. № 2 (8). С. 104-108.
16. Villarreal J., Hossain M. Condition Evaluation of General Aviation Airport Runway Pavements. Airfield and highway pavements 2015: innovative and costeffective pavements for a sustainable future. 2015. No. 2. Pp. 572-580.
17. Ziari H.A., Hayati P.A., Sobhani J.B. Air-Entrained Air Field Self-Consolidating Concrete Pavements: Strength and Durability. International Journal of Civil Engineering. 2017. No. 15(1). Pp. 21-33.
18. Sushovan D., Padade A.H., Chaudhury N.N., Mandal J.N. Design Charts for Flexible Airfield Pavement Based on Analytical Study. Transportation Research Procedia. 2016. No. 17. Pp. 155–163.

References:

1. Zhestkiye pokrytiya aerodromov i avtomobil'nykh dorog /G.I. Glushkov, V.F. Babkov, V.Ye. Trigoni i dr. M.: Transport, 1987. — 255 s. [Hard cover airfields and roads / G.I. Glushkov, V.F. Babkov, V.E. Trigoni et al. M. : Transport, 1987 . 255 p. (In Russ)]

2. Bondarenko V.M., Shagin A.L. Raschet effektivnykh mnogokomponentnykh konstruksiy. - M.: Stroyizdat, 1987. – 175 s. [Bondarenko V.M., Shagin A.L. Calculation of effective multicomponent structures. - M.: Stroyizdat, 1987. 175 p. (In Russ)]
3. Karpenko N.I. Obshchiye modeli mekhaniki zhelezobetona. – M.: Stroyizdat, 1996. 413 s. [Karpenko N.I. General models of mechanics of reinforced concrete. - M.: Stroyizdat, 1996.413 p. (In Russ)]
4. Geniyev G.A., Kisyuk V.N., Tyupin G.A. Teoriya plastichnosti betona i zhelezobetona. – M.: Stroyizdat, 1974. – 316 s. [Genius G.A., Kisyuk V.N., Tyupin G.A. The theory of plasticity of concrete and reinforced concrete. - M.: Stroyizdat, 1974. 316 p. (In Russ)]
5. Surov K.L. Teoriya deformirovaniya zhelezobetona pri slozhnykh napryazhennykh sostoyaniyakh. Dokt. diss. – M.: 1984. – 288 s [Surov K.L. The theory of reinforced concrete deformation under complex stress conditions. Doct. diss. - M.: 1984. 288 p. (In Russ)]
6. Surov K.L., Akayev A.I., Rimshin V.I. K voprosu o raschete prochnosti i zhestkosti stalebetonnykh stanin s uchetom fizicheskoy nelineynosti // Beton i zhelezobeton. – 1996. № 1. s. 24 - 28 [Surov K.L., Akayev A.I., Rimshin V.I. On the issue of calculating the strength and stiffness of steel concrete frames taking into account physical nonlinearity // Concrete and reinforced concrete. 1996. No. 1. p. 24 - 28. (In Russ)]
7. Akayev A.I., Bulgakov A.I. K voprosu o raschete prochnosti po normal'nym secheniyam avariynykh izgibayemykh elementov, usilennykh oboymami // Novoye v raschetakh i proyektirovaniy stroitel'nykh konstruksiy: Materialy regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 29-30 oktyabrya 2009 g. / Makhachkala: Izd-vo DGTU, 2010. s. 50-60. [Akayev A.I., Bulgakov A.I. On the issue of calculating the strength of normal sections of emergency bending elements reinforced with clips // New in the calculations and design of building structures: Materials of the regional scientific and practical conference, October 29-30, 2009 / Makhachkala: Publishing house of DGTU, 2010. p. 50-60. (In Russ)]
8. Amrakhov Z.G., Batdalov M.M., Akayev A.I., Aliyev M.N. Issledovaniye trekhslonnykh plit, soyedi-nennykh razlichnymi svyazyami, na vibratsionnyye vozdeystviya // Novoye v raschetakh i proyektirovaniy stroitel'nykh konstruksiy: Materialy regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 29-30 oktyabrya 2009 g. / Makhachkala: Izd-vo DGTU, 2010. s. 137-140. [Amrakhov Z.G., Batdalov M.M., Akayev A.I., Aliyev M.N. The study of three-layer plates connected by various bonds on vibrational effects // New in the calculations and design of building structures: Materials of the regional scientific and practical conference, October 29-30, 2009 / Makhachkala: Publishing house of DGTU, 2010. Pp. 137-140. (In Russ)]
9. Murtazaliyev G.M., Payzulayev M.M. Metody teorii katastrof v mekhanike konstruksiy // Teoriya sooruzheniy: dostizheniya i problemy: sb. statey po materialam II vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 27-28 noyabrya 2015 g. Makhachkala / Makhachkala: Izd-vo DGTU, 2015. s. 5-14. [Murtazaliyev G.M., Payzulaev M.M. Methods of the theory of disasters in the mechanics of structures // Theory of structures: achievements and problems: collection. articles on the materials of the II All-Russian scientific-practical conference, November 27-28, 2015. Makhachkala / Makhachkala: Publishing house of the DSTU, 2015. pp. 5-14. (In Russ)]
10. Akayev A. I., Payzulayev M. M. Ispol'zovaniye funktsii napryazheniy ploskoy zadachi teorii upru-gosti dlya otsenki napryazhennogo sostoyaniya mnogokomponentnykh balok // Teoriya sooruzheniy: dostizheniya i problemy: sb. statey po materialam II vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 27-28 noyabrya 2015 g. Makhachkala / Makhachkala: Izd-vo DGTU, 2015. s. 134-138. [Akayev A. I., Payzulaev M. M. Using the stress function of the plane problem of the theory of elasticity to assess the stress state of multicomponent beams // Theory of constructions: achievements and problems: collection of works. articles on the materials of the II All-Russian scientific-practical conference, November 27-28, 2015. Makhachkala / Makhachkala: Publishing house of the DSTU, 2015. p. 134-138. (In Russ)]
11. Akayev A.I., Payzulayev M.M. Raschet prochnosti po pervoy grupe predel'nykh sostoyaniy izgiba-yemykh elementov, usilennykh stal'nymi oboymami // Zhurnal «Nauchnoye obozreniye». – Moskva, 2015. №9. s. 112-115. [Akayev A.I., Payzulaev M.M. Strength calculation for the first group of limiting states of bending elements reinforced with steel clips // Journal "Scientific Review". - Moscow, 2015. No. 9. Pp. 112-115. (In Russ)]
12. Krasnikova N.M., Morozov I.M., Khokhryakov O.V., Khozin V.G. Optimizatsiya sostava tsementnogo-betona dlya aerodromnykh pokrytiy // Izvestiya kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno stroitel'nogo universiteta. 2014. № 2. S. 166-172 [Krasnikova N.M., Morozov I.M., Khokhryakov O.V., Khozin V.G. Optimization of the composition of cement-concrete for airfield coatings // News of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2014. No. 2. pp. 166-172. (In Russ)]
13. Yakupov M.I., Morozov N.M., Borovskikh I.V., Khozin V.G. Modifitsirovanny melkozernisty beton dlya vozvedeniya monolitnykh pokrytiy vzletnopoladochnykh polos aerodromov // Izvestiya kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno stroitel'nogo universiteta. 2013. № 4 (26). S. 257-261. [Yakupov M.I., Morozov N.M., Borovskikh I.V., Khozin V.G. Modified fine-grained concrete for the construction of monolithic coatings of runways of airfields // News of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2013. No. 4 (26). pp. 257-261. (In Russ)]
14. Ovchinnikov I.G., Popov A.N., Masalykin A.N. Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye sbor-nykh aerodromnykh pokrytiy, usilennykh asfal'tobetonom v model'nom predstavlenii // Internet-zhurnal naukovedeniye. 2016. № 1 (32). S. 28. [Ovchinnikov I.G., Popov A.N., Masalykin A.N. The stress-strain state of prefabricated airfield coatings

reinforced with asphalt in a model representation // Internet Journal of Science of Science. 2016. No. 1 (32). pp. 28. (In Russ)]

15. Sklyarov A.N. Analiz kharaktera silovoy nagruzki vozdushnykh sudov pri sovershenii vzletnopo-sadochnykh operatsiy i yego uchet pri ekspluatatsii aerodromnykh pokrytiy // *Sovremennyye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii*. 2015. № 2 (8). S. 104-108. [Sklyarov A.N. Analysis of the nature of the power load of aircraft during takeoff and landing operations and its accounting for the operation of airfield coatings // *Modern Trends in the Development of Science and Technology*. 2015. No. 2 (8). pp. 104-108. (In Russ)]

16. Villarreal J., Hossain M. Condition Evaluation of General Aviation Airport Runway Pavements. Airfield and highway pavements 2015: innovative and costeffective pavements for a sustainable future. 2015. No. 2. pp. 572-580.

17. Ziari H.A., Hayati P.A., Sobhani J.B. Air-Entrained Air Field Self-Consolidating Concrete Pavements: Strength and Durability. *International Journal of Civil Engineering*. 2017.No. 15 (1). pp. 21-33.

18. Sushovan D., Padade A.H., Chaudhury N.N., Mandal J.N. Design Charts for Flexible Airfield Pavement Based on Analytical Study. *Transportation Research Procedia*. 2016.No. 17. pp. 155-163.

Сведения об авторах:

Муртазалиев Гелани Муртазалиевич, доктор технических наук, профессор, кафедра сопротивления материалов, теоретической и строительной механики; e-mail: smdstu@mail.ru

Батдалов Мухтаритдин Магомедович, доктор технических наук, профессор, член-корр. Российской академии архитектуры и строительных наук; e-mail: dekanat_asf@mail.ru

Акаев Абдулжафар Имамусейнович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Сейсмостойкое строительство», e-mail: aabdulzhafar@mail.ru.

Булгаков Александр Исакович, кандидат технических наук, доцент, кафедра строительных конструкций и гидротехнических сооружений; e-mail: smdstu@mail.ru

Пайзулаев Магомед Муртазалиевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра сопротивления материалов, теоретической и строительной механики; e-mail: ventav@mail.ru

Information about the authors.

Gelani M. Murtazaliev, Dr. Sci. (Technical), Prof., Department Resistance of Materials, Theoretical and Construction Mechanics; e-mail: smdstu@mail.ru

Mukhtaruddin M. Batdalov, Dr. Sci. (Technical), Prof., Corresponding member Russian Academy of Architecture and Construction Sciences; e-mail: dekanat_asf@mail.ru

Aleksandr I. Bulgakov, Assoc. Prof., Department of Construction structures and hydraulic engineering structures; e-mail: smdstu@mail.ru

Abdulzhafar I. Akayev, Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Head of the Department “Earthquake-Resistant Construction” e-mail: aabdulzhafar@mail.ru

Magomed M. Payzulaev, Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Head of the Department of Resistance of Materials, Theoretical and Building Mechanics; e-mail: ventav@mail.ru

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 25.10.2019.

Принята в печать 30.11.2019.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 25.10.2019.

Accepted for publication 30.11.2019.