

А.В. ТУРКОВ^{1,2}, С.И. ПОЛЕШКО¹, Е.А. ФИНАДЕЕВА¹, К.В. МАРФИН¹

¹ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия

²ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОГИБОВ И ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ КРУГЛЫХ ИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ ПО ЗАКОНУ КВАДРАТНОЙ ПАРАБОЛЫ С УТОЛЩЕНИЕМ К ЦЕНТРУ

Аннотация. Рассматривается взаимосвязь максимальных прогибов W_0 от статической равномерно распределённой нагрузки q и основной частоты собственных поперечных колебаний ω круглой изотропной пластинки переменной толщины по закону квадратной параболы с утолщением в центре при однородных условиях опирания по внешнему контуру в зависимости от соотношения толщины пластины в центре к толщине по краю. По результатам исследования построены графики зависимости максимального прогиба и частоты собственных колебаний пластинки от соотношения t_2/t_1 . Показано, что для круглых пластинок переменной толщины по закону квадратной параболы с утолщением в центре при $t_2/t_1 \leq 1,1$ коэффициент K с точностью до 5,29% совпадает с аналитическим коэффициентом для круглых пластинок постоянной толщины.

Ключевые слова: круглая пластина, условия опирания, частота собственных поперечных колебаний, максимальный прогиб.

A.V. TURKOV^{1,2}, S.I. POLESHKO¹, E.A. FINADEEVA¹, K.V. MARFIN¹

¹Orel state University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia

²South-West State University, Kursk, Russia

THE RELATIONSHIP OF DEFLECTIONS AND FREQUENCIES OF NATURAL TRANSVERSE VIBRATIONS OF CIRCULAR ISOTROPIC PLATES OF VARIABLE THICKNESS ACCORDING TO THE LAW A SQUARE PARABOLA WITH A THICKENING TO THE CENTER

Abstract. The relationship between the maximum deflections W_0 from a static uniformly distributed load q and the fundamental frequency of natural transverse vibrations ω of a round isotropic plate of variable thickness according to the law of a square parabola with a thickening in the center under homogeneous conditions of support along the outer contour, depending on the ratio of the thickness of the plate in the center to the thickness along the edge, is considered. According to the results of the study, graphs of the dependence of the maximum deflection and the frequency of natural vibrations of the plate on the ratio t_2/t_1 are constructed. It is shown that for round plates of linearly variable thickness at $t_2/t_1 \leq 1.1$, the coefficient K with an accuracy of 5.29% coincides with the analytical coefficient for round plates of constant thickness.

Keywords: round plate, bearing conditions, frequency of proper transverse vibrations, maximum deflection.

Введение

Пластины достаточно широко применяются в машиностроении и в строительстве. Они могут работать при различных видах нагружений, как статических так и динамических, и при различных закреплениях по внешнему контуру. Применение в современных зданиях

© Турков А.В., Поleshко С.И., Финадеева Е.А., Марфин К.В., 2022

несущих элементов конструкций в виде круглых пластин вызывает потребность в их диагностике и оценке качества.

В работах проф. В.И. Коробко [1] была установлена фундаментальная закономерность для изотропных пластин постоянного сечения, согласно которой независимо от вида граничных условий пластины произведение её максимального прогиба W_0 от действия равномерно распределенной нагрузки q на квадрат основной частоты колебаний в ненагруженном состоянии ω с точностью до размерного множителя q/m есть величина постоянная:

$$W_0 \cdot \omega^2 = K \frac{q}{m}, \quad (1)$$

где m – равномерно распределённая по площади масса пластины.

Исследованиями взаимосвязи максимальных прогибов и частот собственных колебаний сплошных и составных пластин занимались В.И. Коробко и О.В. Бояркина (Калашникова) [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], А.В. Турков, К.А. Жупикова (Иванушкина) [9, 10], К.В. Марфин [11, 12, 13, 14, 15], О.А. Ветрова [16], Е.В. Карпова [17, 18, 19] и др. Чтобы подтвердить закономерность (1) для пластин переменной толщины по закону квадратной параболы с утолщением в центре, были проведены их численные исследования при различном соотношении толщины в центре t_2 к толщине пластины на опоре t_1 , при этом $t_1 \leq t_2$.

Методы

Расчетная конструкция – круглая изотропная пластина переменной толщины по закону квадратной параболы с утолщением в центре (рисунок 1), толщина которой описывается выражением:

$$t = 5 + k \cdot x^2 \quad (\text{см}). \quad (2)$$

Коэффициент k в (2) вычисляется для каждой расчётной толщины в центре пластины и приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты k для определения толщины пластины по (2)

Коэффициент k в (2) при толщине пластины t_2 в центре (мм)											
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
k	0	0,02887	0,0577	0,0866	0,1155	0,1443	0,1732	0,2021	0,2309	0,2598	0,2887

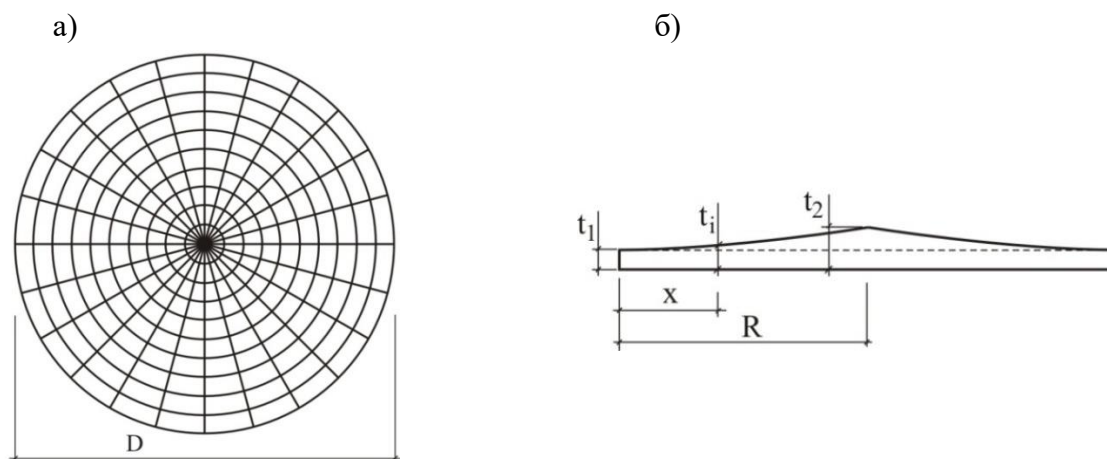


Рисунок 1 – Круглая пластинка переменной толщины по закону квадратной параболы с утолщением в центре (а – конечно-элементная схема; б – толщина пластины, описанной по квадратной параболе с утолщением к центру)

Численные исследования пластин проводились методом конечных элементов. Расчетные схемы составных пластинок приведены на рисунке 2. При расчете пластинок исследовались две схемы опирания: жесткое защемление по контуру (рисунок 2,а) и шарнирное опирание по контуру (рисунок 2,б).

Пластина диаметром 6 м разбита на 240 конечных элементов – 24 элемента в кольцевом направлении и 10 элементов в радиальном (рисунок 1). Толщина пластины в центре принималась постоянной 0,05 м, толщина на опоре являлась переменным параметром и изменялась от 0,05 м (пластина постоянной толщины) до 0,10 м с шагом 0,005 м. Пластина принята из стали обычного качества, объемный вес 78,5 кН/м³. Модуль упругости принят $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа по нормам СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». Все исследования проводились в предположении упругой работы материала.

Равномерно распределенная нагрузка принималась $q = 1$ кН/м². Опирание осуществлялось по контуру в контурных узлах пластин. Предусматривались две схемы опирания – шарнирное опирание и заделка по контуру. Для определения собственных частот поперечных колебаний пластин в узлы конструкции прикладывались сосредоточенные массы от собственного веса пластины в соответствии с грузовой площадью узлов.

Для определения собственных частот поперечных колебаний пластин в узлы конструкции прикладывались сосредоточенные массы от собственного веса пластины в соответствии с грузовой площадью узлов.

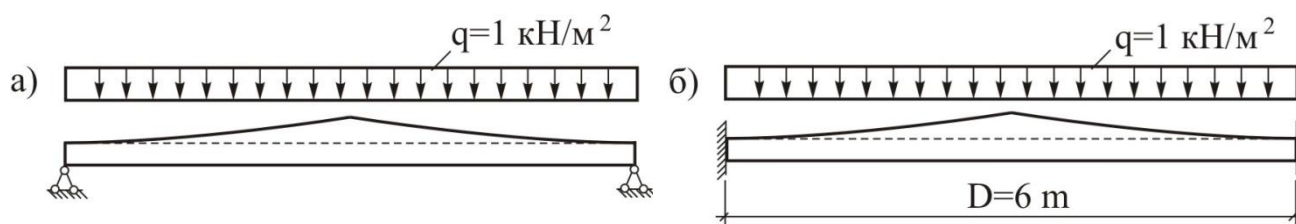


Рисунок 2 – Расчётные схемы пластин (а, в – с шарнирным опиранием по контуру; б, г – с защемлением по контуру)

Результаты и их обсуждение

Определение частот колебаний и прогибов осуществлялось при помощи программного комплекса «SCAD» [20], реализующего метод конечных элементов. Результаты численных исследований пластинки приведены в таблицах 2 и 3. По данным таблиц 2 и 3 построены графики изменения частот колебаний и максимальных прогибов (рисунок 3), а также отклонение коэффициента пропорциональности K от теоретического (рисунок 4). Отклонение фактического значения коэффициента K от теоретического определялось по формуле:

$$\Delta = \frac{K_{теор} - K}{K_{теор}} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Таблица 2 – Результаты численных исследований круглой пластины переменной толщины по закону квадратной параболы с утолщением в центре $D = 6$ м при шарнирном опирании

t_1 (мм)	t_2 (мм)	Круговая частота основного тона, ω (c^{-1})	Максимальный прогиб, W_0 (мм)	$K = W_0 \omega^2 / (q/m)$	$K_{теор} = W_0 \omega^2 / (q/m)$ на основе аналитических W_0 и ω	Отклонение Δ коэффициента K от $K_{теор}$ % по (3)
50	50	42,52237	21,8409	1,581	1,579	-0,11
50	55	43,64185	19,8177	1,535		2,75
50	60	44,72125	18,0793	1,495		5,29
50	65	45,78678	16,5574	1,459		7,60
50	70	46,82111	15,2342	1,426		9,68
50	75	47,84138	14,0623	1,396		11,58
50	80	48,83077	13,0328	1,369		13,30
50	85	49,80690	12,1116	1,344		14,90
50	90	50,75314	11,2949	1,321		16,35
50	95	51,68738	10,5575	1,299		17,70
50	100	52,59295	9,89850	1,280		18,95

Таблица 3 – Результаты численных исследований круглой пластины переменной толщины по закону квадратной параболы с утолщением в центр $D=6$ м при защемлении по контуру

t_1 (мм)	t_2 (мм)	Круговая частота основного тона, ω (c^{-1})	Максимальный прогиб, W_0 (мм)	$K = W_0 \omega^2 / (q/m)$	$K_{теор} = W_0 \omega^2 / (q/m)$ на основе аналитических W_0 и ω	Отклонение Δ коэффициента K от $K_{теор}$ % по (3)
50	50	89,80446	5,1396	1,658	1,629	-1,81
50	55	90,74872	4,7672	1,597		1,95
50	60	91,68692	4,4399	1,544		5,24
50	65	92,64964	4,1460	1,496		8,17
50	70	93,59696	3,8849	1,453		10,78
50	75	94,56172	3,6480	1,415		13,14
50	80	95,50567	3,4358	1,380		15,25
50	85	96,46297	3,2415	1,349		17,19
50	90	97,39632	3,0663	1,321		18,94
50	95	98,34064	2,9047	1,294		20,55
50	100	99,25918	2,7579	1,270		22,03

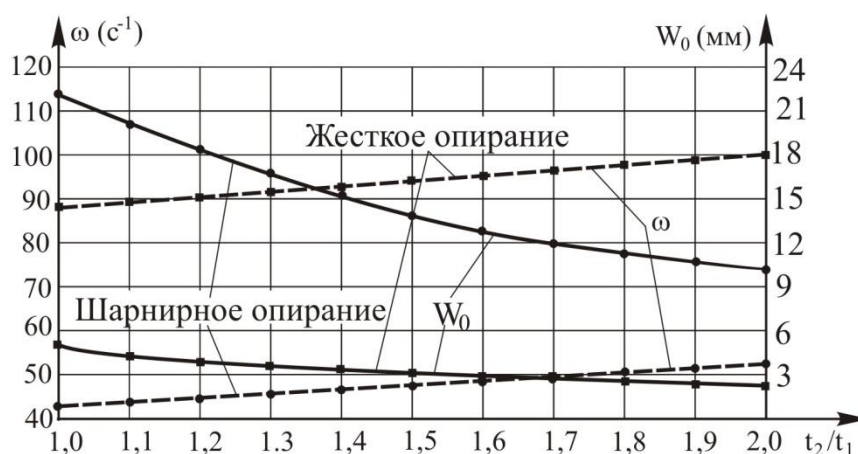


Рисунок 3 – Изменение частот собственных поперечных колебаний и максимальных прогибов пластины в зависимости от соотношения толщины пластины в центре к толщине на краю t_2/t_1

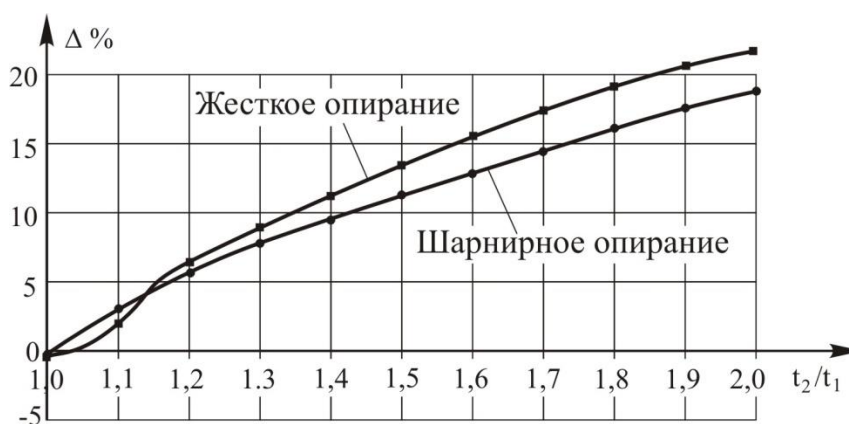


Рисунок 4 – Изменение отклонения коэффициента K от теоретического в зависимости от соотношения толщины пластины в центре к толщине на краю t_2/t_1

Выводы

В результате численных исследований было определены максимальные прогибы и основные частоты колебаний для круглых изотропных пластин переменной толщины по закону квадратной параболы с утолщением в центре. Как показали исследования, коэффициент K подчиняется в пределах 5% зависимости профессора В.И. Коробко только при соотношении толщины на опоре к толщине в центре $t_2/t_1 < 1,1$ для обеих схем опирания. Это объясняется тем, что зависимость (1) выведена для изотропных пластин постоянной толщины и распределение массы неравномерно по всей площади пластины приводит к существенной погрешности уже на стадии небольшой разницы между толщинами на опоре и в центре. При соотношении толщин $t_2/t_1 = 100/50 = 2$ расхождение коэффициента K с аналитическим составляет порядка 19% для шарнирного опирания по контуру до 22% при жёстком опирании, что свидетельствует о более значительном влиянии неравномерного распределения массы для таких граничных условий. Следует также отметить, что все значения коэффициента K больше теоретических для обеих схем опирания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробко В.И. Об одной "замечательной" закономерности в теории упругих пластинок // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1989. № 11. С. 32-36.
2. Коробко В.И. Графоаналитический способ определения основной частоты колебаний и критической нагрузки мембран произвольного вида [Текст] / В.И. Коробко // Тонкостенные пространственные конструкции покрытий зданий. - Таллинн. - 1986. - С. 71-72.
3. Коробко В.И. Изопериметрические неравенства в строительной механике пластинок [Текст] / В.И. Коробко. - М.: Стройиздат, 1992. - 208 с.
4. Коробко В.И. Некоторые геометрические методы решения задач технической теории пластинок (препринт) [Текст] / В.И. Коробко. - Хабаровск: ХабКНИИ ДВНЦ АН СССР. - 1978. - 66 с.
5. Коробко В.И. Оценка частот свободных колебаний пластинок [Текст] / В.И. Коробко // Изв. вузов. Строительство и архитектура. - 1979. - N 10. - С. 21-23.
6. Коробко В.И., Турков А.В., Калашникова О.В. Поперечные колебания, прогибы и усилия в однопролетных составных балках с различными граничными условиями слоев // Строительная механика и расчет сооружений. 2010. № 3. С. 65-68.
7. Коробко В.И., Бояркина О.В. Взаимосвязь задач поперечного изгиба и свободных колебаний треугольных пластинок // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2007. № 22 (94). С. 24-26.
8. Коробко В.И. Применение изопериметрического метода к решению задач технической теории пластинок (препринт) [Текст] / В.И. Коробко. - Хабаровск: ХабКНИИ ДВНЦ АН СССР. - 1978. - 66 с.
9. Турков А.В., Жупикова К.А. Взаимосвязь максимальных прогибов и частот собственных колебаний изотропных кольцевых пластин при шарнирном опирании по внешнему контуру // Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и архитектуры: сборник материалов XX международной научно-технической конференции. Тула, 28-29 июня 2019. Тульский государственный университет. С. 299-302. URL: http://dmitriy.chiginskiy.ru/publications/files/Materialy_XX_MNTK-2019_Tula.pdf (дата обращения: 21.05.2020).
10. Турков А.В., Жупикова К.А. Взаимосвязь максимальных прогибов и частот собственных колебаний изотропных кольцевых пластин при жестком закреплении по внешнему контуру // Актуальные проблемы современной когнитивной науки: сборник статей по итогам всероссийской научно-практической конференции. Волгоград. 30 июня 2019. Стерлитамак: АМИ, 2019. С. 70-72..
11. Турков А.В, Марфин К.В., Баженова А.В. Прогибы и частоты собственных колебаний составных многослойных квадратных изотропных пластин с шарнирным опиранием по контуру при изменении жесткости связей сдвига // Строительство и реконструкция. 2019. №4. С. 65-70.
12. Турков А.В, Марфин К.В., Ветрова О.А. Прогибы и частоты собственных колебаний систем перекрестных ферм на квадратном плане с различными схемами опирания // Промышленное и гражданское строительство. 2018. №11. С. 42-45.
13. Турков А.В, Марфин К.В. Определение коэффициента жесткости шва круглой составной изотропной пластины по её основной частоте колебаний// Строительная механика и расчет сооружений. 2013. №4. С. 58-62.
14. Турков А.В, Марфин К.В. Точность результатов численных исследований круглых составных изотропных пластин на податливых связях при различном количестве конечных элементов // Строительство и реконструкция. 2012. №1. С. 40-45.
15. Турков А.В, Марфин К.В. Экспериментальные исследования составных круглых пластинок на динамические и статические нагрузки // Строительство и реконструкция. 2015. №4. С. 60-66
16. Турков А.В., Ветрова О.А. Прогибы и частоты собственных колебаний систем перекрестных ферм на квадратном плане с различными схемами опирания // Международная научно-практическая конференция «Наука и инновации в строительстве» (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова).Сб. докл.: в 2 т. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. Т. 1. С. 157-161.
17. Турков А.В, Карпова Е.В. Исследование коэффициента жёсткости шва для треугольной составной изотропной пластины в зависимости от её основной частоты колебаний при разной жёсткости связей сдвига // Строительная механика и расчет сооружений. 2015. №2. С. 66-69.
18. Турков А.В, Абашина Н.М., Карпова Е.С. Прогибы и частоты собственных колебаний составных ромбических изотропных пластин, шарнирно опёртых по контуру при изменении жёсткости связей сдвига // Строительство и реконструкция. 2016. №5. С. 45-50.
19. A. Turkov, N.Sabashina/ Deflections and frequencies of natural oscillations of systems of composite two-layer isotropic plates of the round shape at the change of thickness of one of the layers International Journal of Applied Engineering Science//Volume 15 (2017), article 458, pages: 387 - 392.
20. Семенов А.А., Габитов А.И. Проектно-вычислительный комплекс SCAD в учебном процессе. Москва, АСВ. 2005. 152 с.

REFERENCES

1. Korobko V.I. Ob odnoj "zamechatel'noj" zakonomernosti v teorii uprugih plastinok // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura. 1989. № 11. P. 32-36.
2. Korobko V.I. Grafoanaliticheskij sposob opredeleniya osnovnoj chastoty kolebanij i kriticheskoy nagruzki membran proizvol'nogo vida [Tekst] / V.I. Korobko // Tonkostennye prostranstvennye konstrukcii pokrytij zdaniy. - Tallinn. - 1986. - P. 71-72.
3. Korobko V.I. Izoperimetricheskie neravenstva v stroitel'noj mekhanike plastinok [Tekst] / V.I. Korobko. - M.: Strojizdat, 1992. - 208 P.
4. Korobko V.I. Nekotorye geometricheskie metody resheniya zadach tekhnicheskoy teorii plastinok (preprint) [Tekst] / V.I. Korobko. - Habarovsk: HabKNII DVNC AN SSSR. - 1978.- 66 p.
5. Korobko V.I. Ocenka chastot svobodnyh kolebanij plastinok [Tekst] / V.I. Korobko // Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura. - 1979. - N 10. - P. 21-23.
6. Korobko V.I., Turkov A.V., Kalashnikova O.V. Poperechnye kolebaniya, progiby i usiliya v odnoproletnyh sostavnyh balkah s razlichnymi granichnymi usloviyami sloev // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. 2010. № 3. P. 65-68.
7. Korobko V.I., Boyarkina O.V. Vzaimosvyaz' zadach poperechnogo izgiba i svobodnyh kolebanij treugol'nyh plastinok // Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. 2007. № 22 (94). P. 24-26.
8. Korobko V.I. Primenenie izoperimetricheskogo metoda k resheniyu zadach tekhnicheskoy teorii plastinok (preprint) [Tekst] / V.I. Korobko. - Habarovsk: HabKNII DVNC AN SSSR. - 1978. - 66 p.
9. Turkov A.V., ZHupikova K.A. Vzaimosvyaz' maksimal'nyh progibov i chastot sobstvennyh kolebanij izotropnyh kol'cevyyh plastin pri sharnirnom opiraniy po vneshnemu konturu // Aktual'nye problemy stroitel'stva, stroitel'noj industrii i arhitektury: sbornik materialov HKH mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Tula, 28-29 iyunya 2019. Tul'skij gosudarstvennyj universitet. P. 299-302. URL: http://dmitriy.chiginskiy.ru/publications/files/Materialy_XX_MNTK-2019_Tula.pdf (data obrashcheniya: 21.05.2020).
10. Turkov A.V., ZHupikova K.A. Vzaimosvyaz' maksimal'nyh progibov i chastot sobstvennyh kolebanij izotropnyh kol'cevyyh plastin pri zhestkom zakreplenii po vneshnemu konturu // Aktual'nye problemy sovremennoj kognitivnoj nauki: sbornik statej po itogam vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Volgograd. 30 iyunya 2019. Sterlitamak: AMI, 2019. P. 70-72.
11. Turkov A.V., Marfin K.V., Bazhenova A.V. Progiby i chastoty sobstvennyh kolebanij sostavnyh mnogoslojnyh kvadratnyh izotropnyh plastin s sharnirnym opiraniem po konturu pri izmenenii zhestkosti svyazej sdviga // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2019. №4. P. 65-70.
12. Turkov A.V., Marfin K.V., Vetrova O.A. Progiby i chastoty sobstvennyh kolebanij sistem perekrestnyh ferm na kvadratnom plane s razlichnymi skhemami opiraniya // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2018. №11. P. 42-45.
13. Turkov A.V., Marfin K.V. Opredelenie koefficienta zhestkosti shva krugloy sostavnoj izotropnoj plastiny po eyo osnovnoj chastote kolebanij // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. 2013. №4. S. 58-62.
14. Turkov A.V., Marfin K.V. Tochnost' rezul'tatov chislennyh issledovanij kruglyh sostavnyh izotropnyh plastin na podatlivykh svyazyah pri razlichnom kolichestve konechnykh elementov // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2012. №1. P. 40-45.
15. Turkov A.V., Marfin K.V. Eksperimental'nye issledovaniya sostavnyh kruglyh plastinok na dinamicheskie i staticheskie nagruzki // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2015. №4. P. 60-66.
16. Turkov A.V., Vetrova O.A. Progiby i chastoty sobstvennyh kolebanij sistem perekrestnyh ferm na kvadratnom plane s razlichnymi skhemami opiraniya / Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Nauka i innovacii v stroitel'stve» (k 45-letiyu kafedry stroitel'stva i gorodskogo hozyajstva Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova). Sb. dokl.: v 2 t. Belgorod: Izd-vo BGTU, 2017. T. 1. P. 157-161.
17. Turkov A.V., Karpova E.V. Issledovanie koefficienta zhyostkosti shva dlya treugol'noj sostavnoj izotropnoj plastiny v zavisimosti ot eyo osnovnoj chastoty kolebanij pri raznoj zhyostkosti svyazej sdviga // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. 2015. №2. P. 66-69.
18. Turkov A.V., Abashina N.M., Karpova E.S. Progiby i chastoty sobstvennyh kolebanij sostavnyh rombicheskikh izotropnyh plastin, sharnirno oporytyh po konturu pri izmenenii zhyostkosti svyazej sdviga // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2016. №5. P. 45-50.
19. Turkov A.V., Abashina N.S. / Deflections and frequencies of natural oscillations of systems of composite two-layer isotropic plates of the round shape at the change of thickness of one of the layers International Journal of Applied Engineering Science // Volume 15 (2017), article 458, pages: 387 - 392.
20. Semenov A.A., Gabitov A.I. Proektno-vychislitel'nyy kompleks SCAD v uchebnom protsesse. Moskva, ASV. 2005. 152 p.

Информация об авторах:

Турков Андрей Викторович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия,
доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций и материалов.

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,
доктор технических наук, профессор кафедры уникальных зданий и сооружений.

E-mail: aturkov@bk.ru

Полешко Сергей Иванович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия,
студент магистратуры.

E-mail: sergey_poleshko@mail.ru

Финадеева Елена Анатольевна

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и материалов, директор архитектурно-строительного института.

E-mail: asi.gu-unpk@mail.ru

Марфин Кирилл Васильевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и материалов.

E-mail: marfinkirill@yandex.ru

Information about authors:

Turkov Andrey V.

Oryol State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia,
doctor of technical sciences, professor of the department of Building Structures and Materials.

South-West State University, Kursk, Russia,

doctor of technical sciences, professor of the department of Unique Buildings and Structures.

E-mail: aturkov@bk.ru

Poleshko Sergey Iv.

Oryol state University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia,
master's degree student.

E-mail: sergey_poleshko@mail.ru

Finadeeva Elena An.

Oryol state University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of Building Structures and Materials, headmaster of the Institute of Architecture and Civil Engineering.

E-mail: asi.gu-unpk@mail.ru

Marfin Kirill V.

Oryol state University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of Building Structures and Materials.

E-mail: marfinkirill@yandex.ru