

УДК 624.072.2.011.1

А.В. Турков, К.В. Марфин

Госунiversитет – Учебно-научно-производственный комплекс (г. Орел)

Турков Андрей Викторович родился в 1957 г., окончил в 1980 г. Таджикский политехнический институт, доктор технических наук, заведующий кафедрой городского строительства и хозяйства Госуниверситета – УНПК. Имеет около 100 научных и научно-методических трудов по проблемам конструирования и расчета пространственных и составных деревянных конструкций.
E-mail: antur@orel.ru



Марфин Кирилл Васильевич родился в 1988 г., окончил в 2011 г. Госуниверситет – УНПК, ассистент кафедры строительных конструкций и материалов Госуниверситета – УНПК. Имеет 4 научных труда по проблемам расчета составных пластин.
E-mail: marfinkirill@yandex.ru



ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГИБОВ И ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СОСТАВНЫХ КРУГЛЫХ ТРАНСТРОПНЫХ ПЛАСТИН

Рассмотрена взаимосвязь основной частоты свободных поперечных колебаний двухслойной изотропной пластины в ненагруженном состоянии и ее максимальных прогибов при действии равномерно распределенной нагрузки в зависимости от граничных условий слоев, количества жестких блоков и связей сдвига. Показано, что для составных пластин круглого очертания с различными граничными условиями слоев коэффициент K при жестком защемлении по контуру совпадает с аналитическим значением с точностью до 2,79 %, при шарнирном опирании – до 5,85 %.

Ключевые слова: составная пластина, связи сдвига, поперечные связи, частота собственных колебаний, максимальный прогиб.

В современном строительстве немалую роль играет не только качество новой продукции, но и оценка несущей способности и жесткости уже существующих конструкций. В последнее десятилетие интенсивно стали развиваться динамические методы диагностики и оценки качества строительных конструкций. Это связано с обнаружением проф. В.И. Коробко фундаментальных закономерностей, в основе которых лежат строгие функциональные взаимосвязи между интегральными физическими параметрами строительных конструкций, в частности между максимальным прогибом нагруженных конструкций в виде балок и пластин и их основной частотой колебаний в ненагруженном состоянии. Однако для составных пластин, в отличие от изотропных

пластин цельного сечения, эта закономерность еще не подтверждена. Решение данной проблемы имеет не только научное, но и практическое значение.

В.И. Коробко [1] вывел фундаментальную зависимость для изотропных пластин постоянного сечения, которая формулируется следующим образом: вне зависимости от граничных условий произведение максимального прогиба W_0 от действия равномерно распределенной нагрузки q на квадрат основной частоты колебаний пластины в ненагруженном состоянии ω с точностью до размерного множителя q/m есть величина постоянная:

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

где K – коэффициент, аналитическое значение которого для круглых шарнирно опертых по контуру пластин составляет 1,579, при жестком опирании – 1,629 [1];

m – равномерно распределенная по площади масса пластины.

В работе [2] выведены основные уравнения для составных стержней и пластин с упругоподатливыми поперечными связями и связями сдвига. Чтобы подтвердить закономерность (1) для составных пластин, были проведены численные исследования круглой составной двухслойной пластины при различном количестве поперечных связей и связей сдвига.

В данной статье рассмотрены круглые изотропные двухслойные пластины из композиционного материала на основе древесины с податливыми поперечными связями и связями сдвига между слоями. Изучена достоверность зависимости (1) при различном количестве связей сдвига и поперечных связей при их равномерной расстановке по поверхности пластины. Критерием точности полученных результатов будем считать аналитически полученное значение коэффициента K .

В качестве расчетной принята 24-угольная пластина, которая аппроксимировала круг радиусом 500 мм. Радиальные и концентрические линии разбивали каждый слой составной пластины на 288 конечных элементов (КЭ). Количество радиальных линий было взято исходя из удобства симметричной расстановки связей сдвига, так как количество КЭ слоев несущественно влияет на точность расчета [3]. В расчетной схеме КЭ слоев были локально соединены поперечными связями и связями сдвига в жесткий блок (ЖБ), изображенный на рис. 1.



Рис. 1. Соединение конечных элементов верхнего и нижнего слоев составной пластины поперечными связями и связями сдвига в жесткий блок

Жесткие блоки в составной пластине были расставлены локально в соответствии со схемами, приведенными на рис. 2.

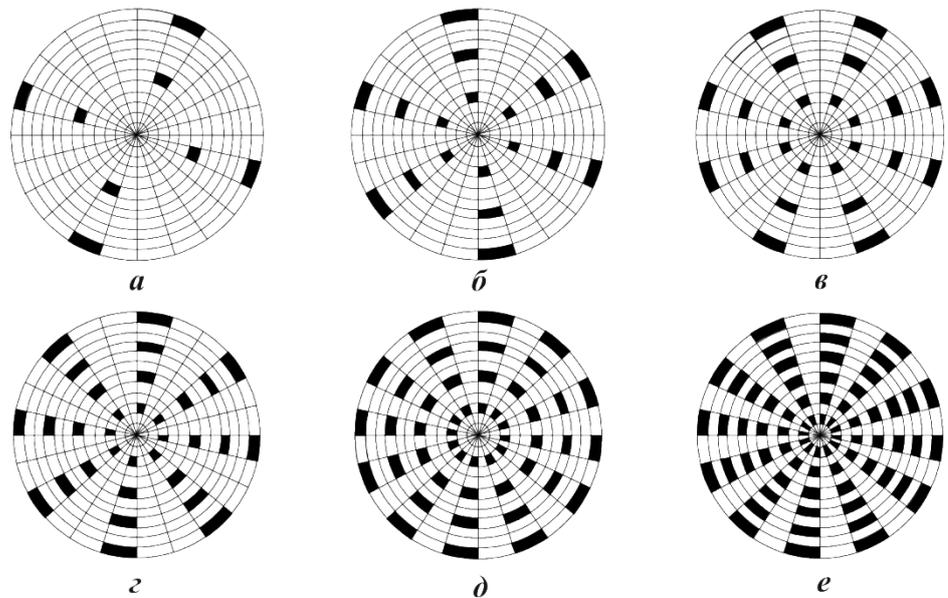


Рис. 2. Схема расстановки жестких блоков в круглых пластинах: *a* – 8 блоков ($n_{жб}/n_{кэ} = 0,028$); *б* – 18 блоков ($n_{жб}/n_{кэ} = 0,063$); *в* – 24 блока ($n_{жб}/n_{кэ} = 0,083$); *г* – 32 блока ($n_{жб}/n_{кэ} = 0,111$); *д* – 48 блоков ($n_{жб}/n_{кэ} = 0,167$); *е* – 72 блока ($n_{жб}/n_{кэ} = 0,250$)

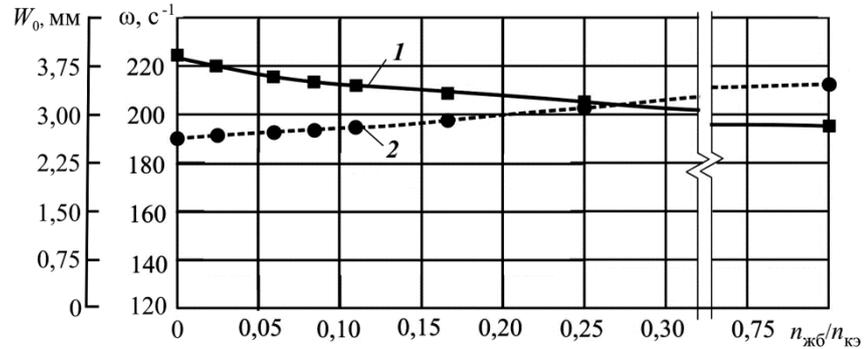
На основании анализа данных [3] жесткость связей сдвига была принята постоянной – 10 кН; жесткость поперечных связей – 512 кН, что соответствует стальному нагелю диаметром 2 мм. Опоры по контуру составной плиты расположены в узлах КЭ слоев, при этом их граничные условия одинаковые.

Слои составной пластины из древесно-стружечной плиты приняты постоянного сечения. Все характеристики слоев взяты из паспорта изделия: толщина 8 мм, средняя плотность 7,40 кН/м³, модуль упругости при изгибе 26 МПа. Для динамического расчета массы в узлах слои собирали в соответствии с объемным весом и грузовой площадью узла. При статическом расчете к верхнему слою прикладывали равномерно распределенную нагрузку интенсивностью 1 кН/м². Исследования проводили методом конечных элементов. Расстояние между слоями принимали равным расстоянию между центрами тяжести слоев. Результаты расчета жестко защемленной и шарнирно опертой

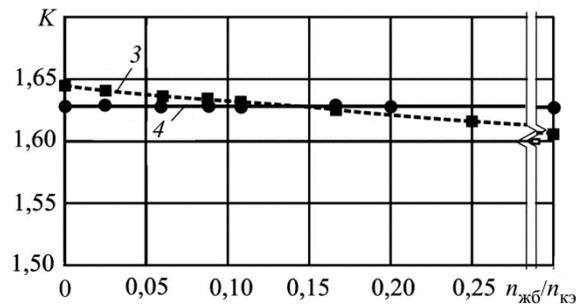
по контуру пластин приведены в таблице. По данным таблицы построены графики изменения прогибов, частот колебаний и коэффициента K в зависимости от количества жестких блоков (рис. 3, 4).

Результаты численных исследований составной круглой пластины радиусом $r = 500$ мм

Количество жестких блоков	Круговая частота основного тона $\omega, \text{с}^{-1}$	Максимальный прогиб $W_0, \text{мм}$	Коэффициент		Отклонение, %, $\frac{K_{\text{факт}}}{K_{\text{аналит}}}$
			фактический $K_{\text{факт}} = \frac{W_0 \omega^2}{(q/m)}$	аналитический $K_{\text{аналит}}$	
Жесткое защемление по контуру					
0	189,16890	3,810869	1,645910	1,629	1,691040
8	190,81740	3,740205	1,643668		1,466780
18	192,93620	3,647291	1,638629		0,962867
24	194,14920	3,596789	1,636322		0,732236
32	195,77930	3,529733	1,632894		0,389437
48	198,85300	3,409411	1,627145		-0,185470
72	203,27240	3,247072	1,619315		-0,968460
288	214,77820	2,875691	1,601052		-2,794850
Шарнирное опирание по контуру					
0	89,06610	16,275250	1,558243	1,579	-2,075680
8	92,08064	15,206590	1,556149		-2,285100
18	94,97614	14,256730	1,552143		-2,685730
24	96,80996	13,705530	1,550310		-2,868980
32	98,57993	13,191400	1,547215		-3,178530
48	102,71170	12,115450	1,542631		-3,636890
72	107,19960	11,071300	1,535563		-4,343700
288	118,20920	9,015350	1,520435		-5,856510



a



б

Рис. 3. Изменение частот собственных колебаний ω и прогибов W_0 (*a*), а также коэффициентов $K_{факт}$ и $K_{аналит}$ (*б*) в зависимости от количества жестких блоков $n_{жб}$ при жестком защемлении составной пластины по контуру: 1 – W_0 , 2 – ω , 3 – $K_{факт}$, 4 – $K_{аналит}$

Отклонение полученного на основании расчета коэффициента $K_{факт}$ от $K_{аналит}$ определяли по следующей формуле:

$$\Delta = \frac{K_{аналит} - K_{факт}}{K_{аналит}} 100 \% .$$

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что независимо от количества симметрично расположенных жестких блоков в двухслойной составной пластине фундаментальная зависимость (1) выполняется.

Выводы

1. В результате численного исследования составных изотропных пластин на податливых связях была подтверждена закономерность (1) при разном количестве симметрично расположенных жестких блоков, а значит, и связей сдвига.

2. Результаты исследования показали хорошее совпадение коэффициента K . Для круглых пластин расхождение составило от 2,79 % при жестком заземлении пластины по контуру и до 5,85 % при шарнирном опирании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробко В.И. Об одной "замечательной" закономерности в теории упругих пластинок // Строительство и архитектура. 1989. № 11. С. 32–36.
2. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластинки. М.: Стройиздат, 1986. 316 с.
3. Турков А.В., Марфин К.В. Прогобы и частоты собственных колебаний составных круглых изотропных пластин с различными граничными условиями при изменении жесткости связей сдвига // Строительство и реконструкция. 2011. № 5. С. 51–55.

Поступила 03.05.12

A.V. Turkov, K.V. Marfin

State University – Education-Science-Production Complex, Orel.

Study of Deflection and Natural Vibration Frequencies of Composite Circular Transropic Plates

The paper considers the relation between the fundamental frequency of free transverse vibrations of a two-layer isotropic plate in the state of no-load and their maximum deflection on exposure to uniform load, depending on the boundary conditions of the layers and the number of hard blocks and, thus, shear bonds. It is shown that for composite round-shaped plates with different boundary conditions of layers, K factor coincides with the analytical value up to 2.79% at rigid fixing of the plate along a contour to 5.85% at hinge support.

Keywords: composite plate, shear bonds, transverse connection, natural vibration frequencies, maximum deflection.