



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-4-505-517

УДК 624.074.5, 69.07

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ ПЛИТ НА ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

И.Д. Аникеев, А.В. Голиков

Волгоградский государственный технический университет
ул. Академическая, 1, Волгоград, Россия, 400074

В статье выполнено исследование влияния геометрии прямоугольных в плане, шарнирно опертых по контуру, стержневых плит на их напряженно-деформированное состояние (НДС). Рассмотрены стержневые плиты с кубической и пирамидальной формой ячейки в целях получения зависимостей внутренних усилий, деформаций и частот собственных колебаний от высоты поперечного сечения и соотношения сторон плиты. Построены пространственные расчетные схемы с вариацией формы ячейки, высоты плиты и соотношения сторон плиты. Произведен статический расчет от единичной нагрузки, приложенной к верхнему поясу, и модальный анализ. Получены значения усилий в элементах, перемещения узлов, частоты и формы собственных колебаний. Построены графики, характеризующие динамику изменения НДС в зависимости от влияющих факторов.

Ключевые слова: стержневая плита, расчетная схема, напряженно-деформированное состояние, внутренние усилия, сравнительный расчет, частота колебаний

Введение. Стержневые плиты являются одним из перспективных направлений строительных конструкций, это связано с их достоинствами перед традиционными конструктивными формами, такими как: пространственная работа системы, устойчивость к прогрессирующему разрушению, возможность использования при больших пролетах, облегчение конструкции кровли благодаря частой сетке узлов, максимальная унификация узлов и элементов, возможность поточного производства, архитектурная выразительность [1–9].

Однако при знакомстве с литературой по этой теме, читающий столкнется с отсутствием информации об изменении НДС при различной высоте плиты, соотношении ее сторон, формы элементарной ячейки. Также, отсутствует информация о характерных формах и частотах собственных колебаний необходимых для динамического анализа конструкции и при проектировании с динамической нагрузкой или в сейсмоопасных районах. Именно отсутствие этой информации послужило поводом для исследования.

Анализ исследований, публикаций и опыта проектирования. Первое применение пространственных стержневых конструкций относится к 30-м годам XX века за авторством Р. ЛеРиколле. В 40-х годах появляются конструкции за авторством С. Дю Шато, Р.Б. Фуллера получившие широкое распространение. С 50-х раз-

работаны и применяются конструкции систем «Меро», «Мобилар», «Юнистрэт» и др. [7].

Первый проект пространственной стержневой конструкции в отечественной практике относится к проекту выставочного павильона в Сокольниках в 1960 году. В 1960-х годах были разработаны системы МАРХИ [10], ЦНИИСК [11], широко применявшиеся в отечественной практике [7].

Первоначально расчет пространственных стержневых конструкций выполнялся методами строительной механики как систем перекрестных балок или ферм, или приведением дискретной системы стержней к континуальной пластинке с последующим разложением полученных усилий на дискретную систему. Более подробно указанные методы изложены в работах Игнатьева В.А. и учеников его научной школы [12—16]. В 1980-х расчет начал осуществляться на ЭВМ с поиском оптимальных вариантов [4; 7; 8].

На данный момент расчет выполняется с помощью различных расчетных комплексов, основанных на методе конечных элементов (МКЭ), что позволяет с меньшими затратами времени производить не только прочностной расчет, но и оптимизацию конструкции.

В источниках [2—4; 6—9; 17; 18], как правило, приводятся общая информация, касающаяся формы ячеек, типов узлов и рекомендаций по высоте поперечного сечения в $1/20 \sim 1/30$ пролета. Но отсутствует информация о том, как получены эти значения и как изменяется НДС при изменении формы ячейки, высоты плиты и соотношении сторон.

Цель исследования: изучение работы прямоугольных в плане, шарнирно опертых в углах, стержневых плит с кубической и пирамидальной ячейкой при изменении высоты плиты и соотношения сторон плиты для выявления закономерностей НДС связанных с геометрией плит.

Задачи работы.

1. Выполнить расчет и анализ напряженно-деформированного состояния стержневой плиты с различной формой ячейки, высотой плиты и соотношением сторон.

2. Выявить закономерности связанные с варьированием формы ячейки, высоты плиты и соотношением сторон влияющие на усилия, деформации, частоты и формы колебаний.

3. Определить закономерности влияния жесткости плиты на частоту и форму колебаний.

Объект исследования и обработка результатов.

Объектом исследования данной работы были прямоугольные в плане стержневые плиты с кубической и пирамидальной ячейками, опертые по вершинам нижнего прямоугольника, образованного внешним контуром нижнего пояса.

Для исследования использовался расчетный комплекс ЛИРА САПР основанный на МКЭ [19; 20]. Создана пространственная расчетная схема, состоящая из верхней и нижней сетки с квадратными ячейками соединенными раскосами. В расчетных схемах и схемах нагружений стержневых плит (рис. 1, 2) общим параметром является размер ячейки 1×1 м. Варьируются тип ячейки, высота плиты и соотношение сторон плиты. Опорные закрепления осуществлены в угловых узлах плиты по нижнему поясу, со свободными горизонтальными деформациями.

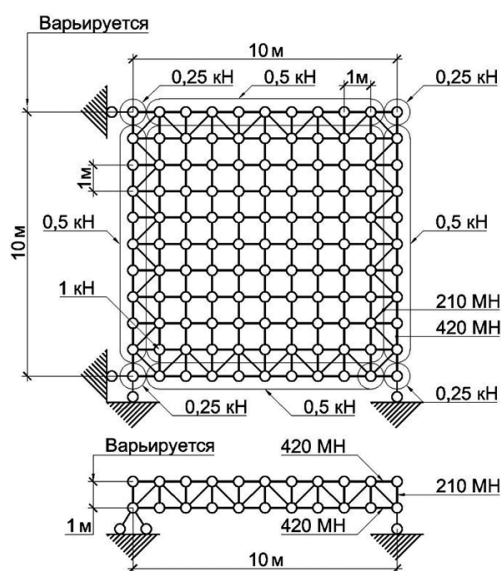


Рис. 1. Расчетная схема стержневой плиты с кубическими ячейками и картой приложения нагрузки

[Fig. 1. Analysis scheme of a rods plate with cubic cells and a load map]

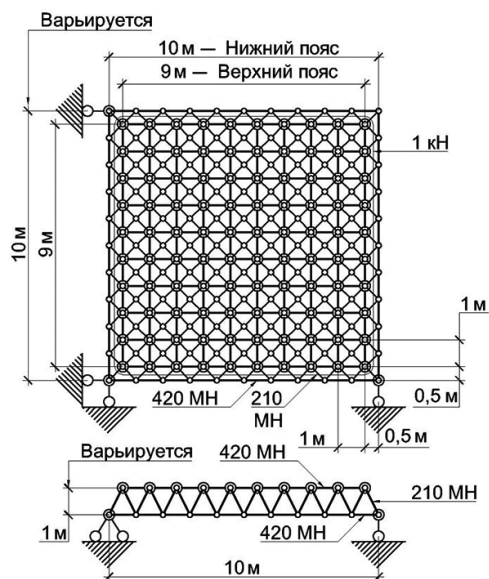


Рис. 2. Расчетная схема стержневой плиты с пирамидальными ячейками и картой приложения нагрузки

[Fig. 2. Analysis scheme of a rods plate with pyramidal cells and a load map]

Жесткостные характеристики поясов приняты как для поперечного сечения площадью $A = 20 \text{ см}^2$ с продольной жесткостью $EA = 420 \text{ МН}$ и удельным весом погонного метра $g = 1570 \text{ Н/м}$

Жесткостные характеристики раскосов приняты как для поперечного сечения площадью $A = 10 \text{ см}^2$ с продольной жесткостью $EA = 210 \text{ МН}$ и удельным весом погонного метра $g = 785 \text{ Н/м}$.

К верхнему поясу прикладывается единичная равномерно распределенная по площади нагрузка $q = 1 \text{ кПа}$ собранная в узлы согласно их грузовой площади в виде сосредоточенных сил.

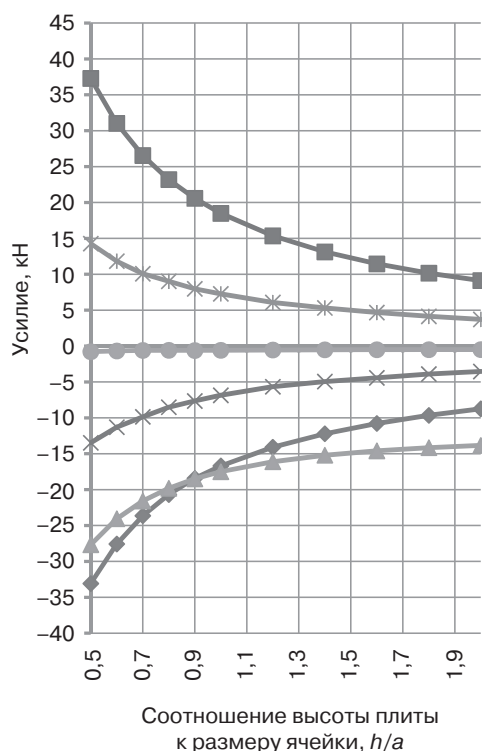
Всего было создано четыре серии моделей.

1. С кубической ячейкой, размером в плане $10 \times 10 \text{ м}$ и вариацией высоты плиты от $0,5$ до $2,0 \text{ м}$.
2. С пирамидальной ячейкой, размером в плане $10 \times 10 \text{ м}$ и вариацией высоты плиты от $0,5$ до $2,0 \text{ м}$.
3. С кубической ячейкой, высотой плиты 1 м и вариацией сторон плиты от $10 \times 10 \text{ м}$ до $10 \times 20 \text{ м}$.
4. С пирамидальной ячейкой, высотой плиты 1 м и вариацией сторон плиты от $10 \times 10 \text{ м}$ до $10 \times 20 \text{ м}$.

В результате статического расчета и модального анализа получены значения усилий в стержнях, перемещения узлов, частоты и формы колебаний. Эти данные обработаны и сведены в графики:

— максимальные и математически ожидаемые усилия в поясах и раскосах плиты для различных соотношений высоты плиты к размеру ячейки h/a (рис. 3, 4);

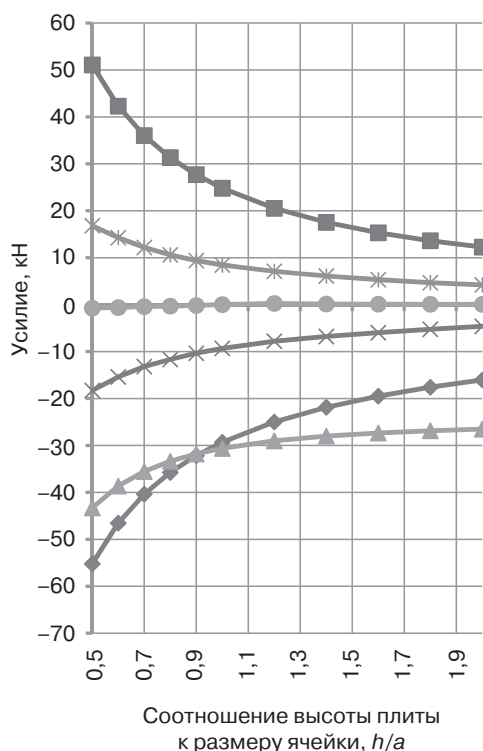
- соотношение усилий в продольных стержнях к поперечным, в зависимости от соотношения сторон плиты (рис. 5, 6);
- прогиб середины плиты для различных соотношений высоты плиты к размеру ячейки h/a (рис. 7, 8);
- частота собственных колебаний для различных соотношений высоты плиты к размеру ячейки h/a (рис. 9, 10);
- прогиб середины плиты в зависимости от соотношения сторон плиты (рис. 11, 12);
- частота собственных колебаний в зависимости от соотношения сторон плиты (рис. 13, 14).



Условные обозначения:

- ◆ — максимальное усилие в верхнем поясе, кН;
- — максимальное усилие в нижнем поясе, кН;
- ▲ — максимальное усилие в раскосах, кН;
- × — мат. ожидаемое усилие в верхнем поясе, кН;
- * — мат. ожидаемое усилие в нижнем поясе, кН;
- — мат. ожидаемое усилие в раскосах, кН

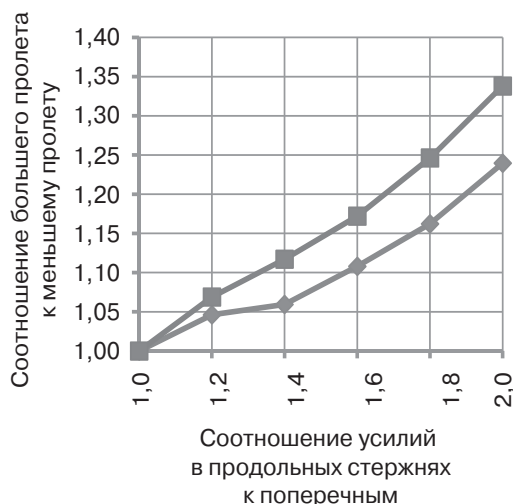
Рис. 3. Кривые зависимости усилий в элементах плиты с кубическими ячейками от соотношения высоты плиты к размеру ячейки h/a
[Fig. 3. The graph of the dependence of forces in the elements of a plate with cubic cells on the ratio of the height of the plate to the size of the cell, h/a]



Условные обозначения:

- ◆ — максимальное усилие в верхнем поясе, кН;
- — максимальное усилие в нижнем поясе, кН;
- ▲ — максимальное усилие в раскосах, кН;
- × — мат. ожидаемое усилие в верхнем поясе, кН;
- * — мат. ожидаемое усилие в нижнем поясе, кН;
- — мат. ожидаемое усилие в раскосах, кН

Рис. 4. Кривые зависимости усилий в элементах плиты с пирамидальными ячейками от соотношения высоты плиты к размеру ячейки h/a
[Fig. 4. The graph of the dependence of forces in the elements of a plate with pyramidal cells on the ratio of the height of the plate to the size of the cell, h/a]

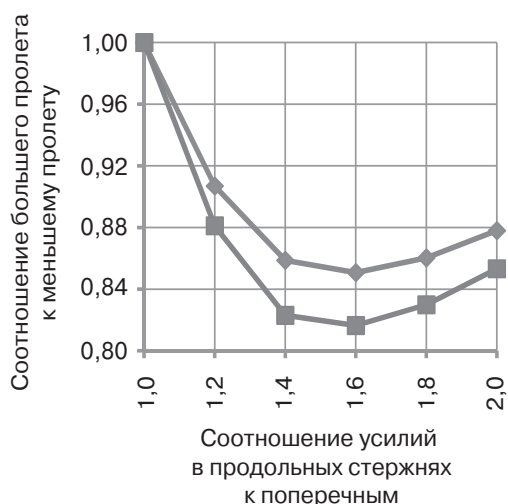


Условные обозначения:

◆ — нижний пояс; ■ — верхний пояс

Рис. 5. Кривые зависимости отношения усилий в продольных стержнях к поперечным стержням от соотношения сторон плиты с кубическими ячейками

[Fig. 5. The graph of the dependence of the ratio of forces in longitudinal rods to transverse rods on the ratio of the sides of a plate with cubic cells]



Условные обозначения:

◆ — нижний пояс; ■ — верхний пояс

Рис. 6. Кривые зависимости отношения усилий в продольных стержнях к поперечным стержням от соотношения сторон плиты с пирамидальными ячейками

[Fig. 6. The graph of the influence of the ratio of forces in longitudinal rods to transverse rods on the ratio of the sides of a plate with pyramidal cells]

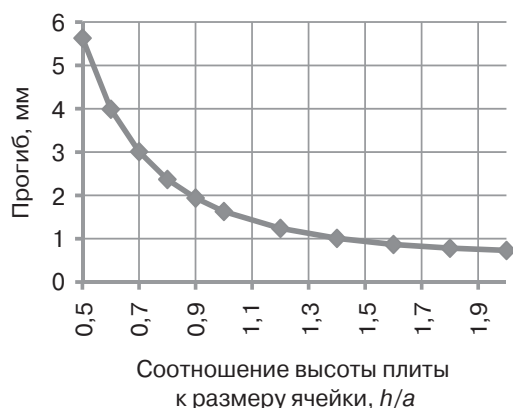


Рис. 7. Зависимость прогиба середины плиты с кубическими ячейками от соотношения высоты плиты к размеру ячейки h/a

[Fig. 7. Graph of the dependence of the deflection of the middle of the plate with cubic cells on the ratio of the plate height to the cell size, h/a]

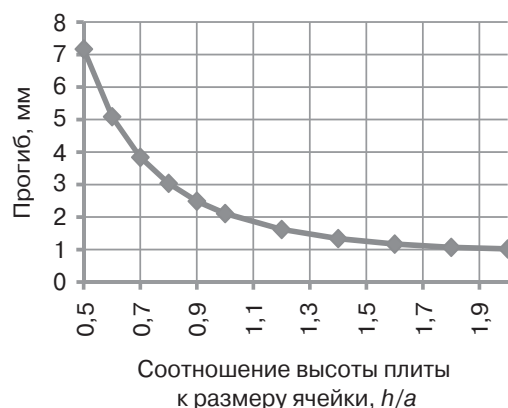


Рис. 8. Зависимость прогиба середины плиты с пирамидальными ячейками от соотношения высоты плиты к размеру ячейки h/a

[Fig. 8. Graph of the dependence of the deflection of the middle of the plate with pyramidal cells on the ratio of the plate height to the cell size, h/a]

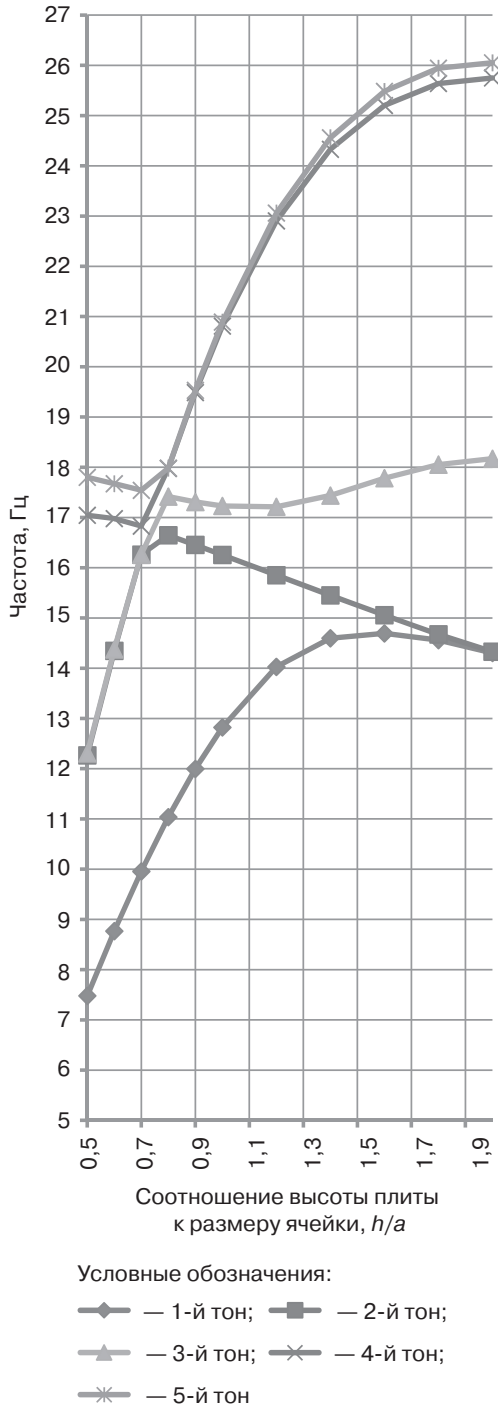


Рис. 9. Кривые зависимости частоты собственных колебаний плиты с кубическими ячейками от соотношения высоты плиты к размеру ячейки h/a
[Fig. 9. The graph of the frequency of natural oscillations of a plate with cubic cells on the ratio of the plate height to the cell size h/a]

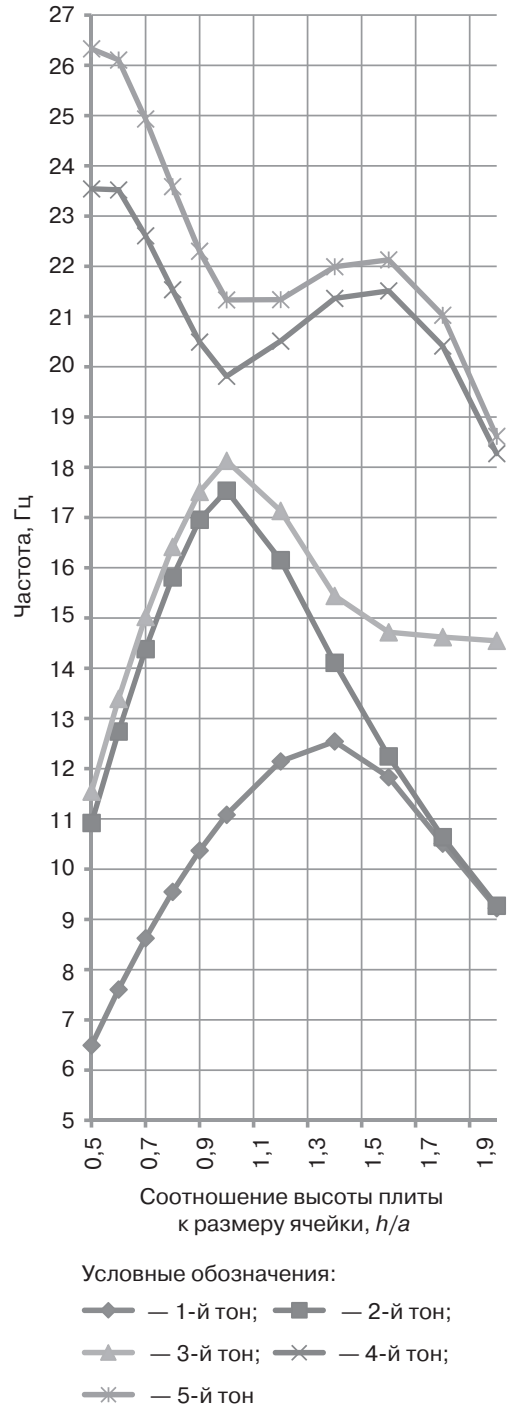


Рис. 10. Кривые зависимости частоты собственных колебаний плиты с пирамидальными ячейками от соотношения высоты плиты к размеру ячейки h/a
[Fig. 10. The graph of the frequency of natural oscillations of a plate with pyramidal cells on the ratio of the plate height to the cell size h/a]

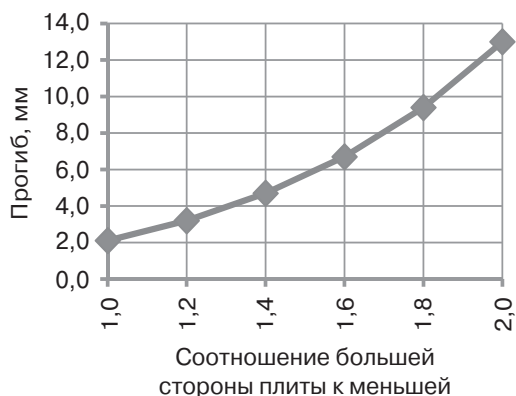


Рис. 11. Зависимость прогиба середины плиты с кубическими ячейками от соотношения сторон плиты

[Fig. 11. Graph of the dependence of the deflection of the middle of the plate with cubic cells on the ratio of the side of the plate]

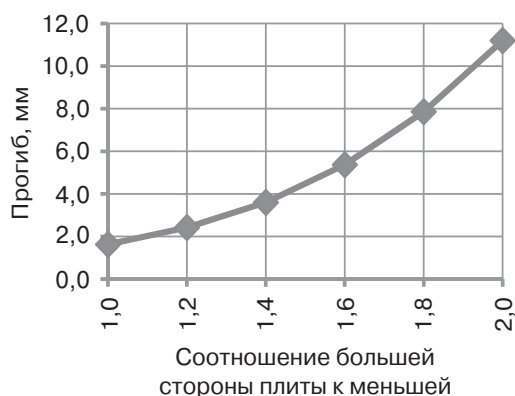
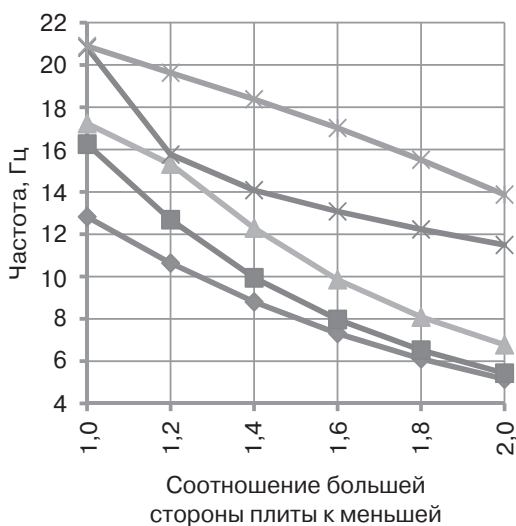


Рис. 12. Зависимость прогиба середины плиты с пирамидальными ячейками от соотношения сторон плиты

[Fig. 12. Graph of the dependence of the deflection of the middle of the plate with pyramidal cells on the ratio of the side of the plate]

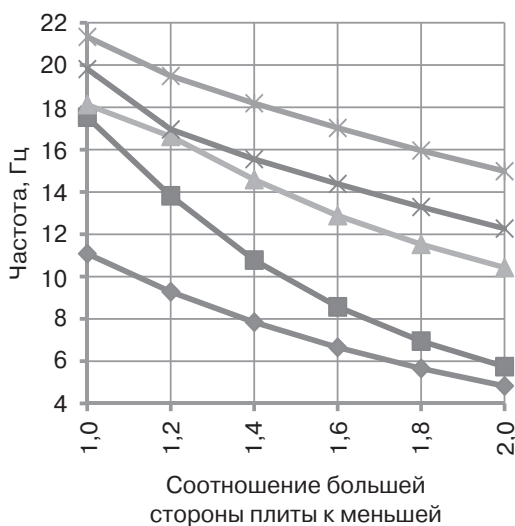


Условные обозначения:

- ◆ — 1-й тон; ■ — 2-й тон;
- ▲ — 3-й тон; ✕ — 4-й тон;
- ✱ — 5-й тон

Рис. 13. Кривые зависимости частот собственных колебаний плиты с кубическими ячейками от соотношения сторон плиты

[Fig. 13. Graph of the frequency of natural vibrations of a plate with cubic cells from the ratio of the side of the plate]



Условные обозначения:

- ◆ — 1-й тон; ■ — 2-й тон;
- ▲ — 3-й тон; ✕ — 4-й тон;
- ✱ — 5-й тон

Рис. 14. Кривые зависимости частот собственных колебаний плиты с пирамидальными ячейками от соотношения сторон плиты

[Fig. 14. Graph of the frequency of natural vibrations of a plate with pyramidal cells from the ratio of the side of the plate]

Графики изменения усилий и прогибов от высоты поперечного сечения плиты и графики изменения усилий и прогибов от соотношения сторон плиты были аппроксимированы с помощью простых математических функций и сведены в таблицы 1–4. Формы колебаний для первых 5-ти частот были изучены и занесены в таблицу 5, а их соответствующее графическое отображение на рисунке 15.

Таблица 1

Аппроксимирующие функции кривых для кубической ячейки
[Approximating functions of the curves for a cubic cell]

Тип кривой	Макс. верхний пояс, кН	Макс. нижней пояс, кН	Макс. раскосы, кН	Мат.ожид. верхний пояс, кН	Мат.ожид. нижний пояс, кН	Прогиб плиты, мм
Формула кривой	$y = \frac{1}{(a + bx^c)}$					
<i>a</i>	5,644 e-3	-3,138 e-4	-3,138 e-4	-1,635 e-3	9,416 e-3	1,360 e-1
<i>b</i>	-6,548 e-2	-5,376 e-2	-5,376 e-2	-1,436 e-1	-1,478 e-1	-7,293 e-1
<i>c</i>	8,700 e-1	1,020 e+0	1,020 e+0	9,888 e-1	8,923 e-1	1,221 e+0

Таблица 2

Аппроксимирующие функции кривых для пирамидальной ячейки
[Approximating functions of the curves for a pyramidal cell]

Тип кривой	Макс. верхний пояс, кН	Макс. нижней пояс, кН	Макс. раскосы, кН	Мат.ожид. верхний пояс, кН	Мат.ожид. нижний пояс, кН	Прогиб плиты, мм
Формула кривой	$y = \frac{1}{(a + bx^c)}$					
<i>a</i>	2,890 e-3	7,935 e-4	7,184 e-1	-4,127 e-3	-4,952 e-3	1,416 e-1
<i>b</i>	-3,698 e-2	-4,105 e-2	-7,501 e-1	-1,026 e-1	-1,125 e-1	-5,982 e-1
<i>c</i>	8,157 e-1	1,013 e+0	1,532 e-2	1,022 e+0	1,051 e+0	1,094 e+0

Таблица 3

Аппроксимирующие функции прогибов для плит с вариацией длины
[Approximating functions of deflections for plates with a length variation]

Тип кривой	Прогиб с кубической ячейкой, мм	Прогиб с пирамидальной ячейкой, мм
Формула кривой	$y = a + bx + cx^2$	
<i>a</i>	8,35 e+0	6,96 e+0
<i>b</i>	-1,467'375 e+1	-1,252 e+1
<i>c</i>	8,031'250 e+0	7,746 e+0

Таблица 4

Аппроксимирующие функции усилий для плит с вариацией длины
[Approximating functions of force for slabs with a length variation]

Тип кривой	Усилия в нижнем поясе с кубической ячейкой, кН	Усилия в верхнем поясе с кубической ячейкой, кН	Усилия в нижнем поясе с пирамидальной ячейкой, кН	Усилия в верхнем поясе с пирамидальной ячейкой, кН
Формула кривой	$y = \frac{1}{(a + bx^c)}$		$y = a + bx + \frac{c}{x^2}$	
<i>a</i>	1,046 e+0	1,213 e+0	2,966 e-1	8,757 e-2
<i>b</i>	-5,136 e-2	-2,198 e-1	2,315 e-1	3,074 e-1
<i>c</i>	2,194 e+0	1,073 e+0	4,733 e-1	6,060 e-1

Тон собственных колебаний плиты и соответствующая ему форма
[The tone of the natural oscillations of the plate and the corresponding form]

Тон колебаний	1	2	3	4	5
Тип формы колебания	A	B	B	C	B+D

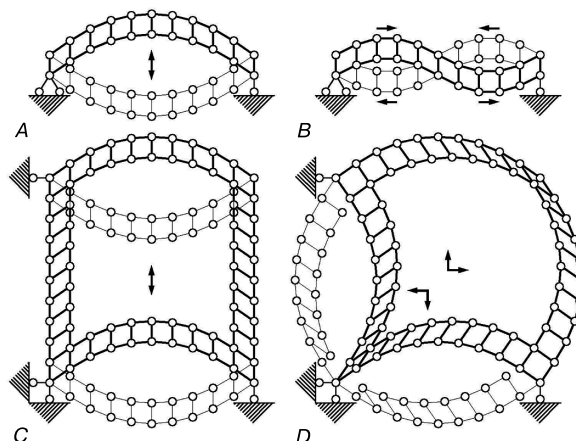


Рис. 15. Типы форм собственных колебаний стержневой плиты
[Fig. 15. Types of forms of natural oscillations rods plate]

Выводы. По результатам выполненных расчетов и анализа НДС можно прийти к следующему:

1) изучена работа стержневых плит, выполнен анализ напряженно-деформированного состояния и выявлены закономерности, связанные с влиянием варьированием формой ячейки, высотой плиты от 0,5 м до 2,0 м и соотношения сторон от 1×1 до 2×1 на усилия, деформации, частоты и формы колебаний;

2) получены новые научные данные, не представленные в обзоре литературы, ценные для понимания характера изменения НДС стержневых плит при вариации их геометрии;

3) усилия в элементах могут быть описаны по обратной степенной функции, принимая максимальные значения при наименьшей высоте плиты и минимальные значения при наибольшей высоте плиты. Это связано с тем, что изменение высоты плиты изменяет плечо внутренней пары сил, являющейся эквивалентом изгибающего момента в континуальной пластинке к которой можно свести дискретную стержневую плиту;

4) прогиб середины плиты может быть описан по полиномиальной функции, принимая максимальные значения при наименьшей высоте плиты и минимальные значения при наибольшей высоте плиты. Это связано с тем, что высота плиты изменяет геометрические характеристики ее поперечного сечения, что сказывается на ее изгибной жесткости;

5) соотношение между усилиями в стержнях в продольном и поперечном направлениях, при кубической ячейке, возрастают линейно в 1,3 раза при изменении соотношения сторон от 1×1 до 2×1. Соотношение при этом остается положительным (усилия в продольных стержнях больше чем в поперечных);

6) соотношение между усилиями в стержнях в продольном и поперечном направлениях, при пирамидальной ячейке, характеризуются следующими закономерностями: уменьшаются от 1,00 до 0,81 при изменении соотношения сторон от 1×1 до $1,6 \times 1$, увеличиваются от 0,81 до 0,86 при изменении соотношения сторон от $1,6 \times 1$ до 2×1 . Соотношение при этом остается отрицательным (усилия в продольных стержнях меньше, чем в поперечных), это можно связать с большей жесткостью на кручение пирамидальной ячейки;

7) прогиб середины плиты изменяется по параболе, возрастая в 6 раз при изменении соотношения сторон от 1×1 до 2×1 ;

8) при всех вариациях высоты поперечного сечения плиты форма колебаний сохраняется соответствующей каждому тону. Так, для первого тона характерны поступательные движения в вертикальной плоскости, которые можно охарактеризовать как «батут». Для второго и третьего тона характерно волнообразное поступательное движение в вертикальной плоскости из одного угла плиты в другой по диагонали. Их расхождение на графиках можно обосновать условиями закрепления, допускающими горизонтальные деформации. Для четвертого тона характерны горизонтальные, поочередно сменяющиеся, движение вдоль и поперек плиты. Для пятого тона характерна форма, совмещающая в себе движения характерные для второго и четвертого тонов;

9) частоты собственных колебаний первых 5-ти тонов уменьшаются, в среднем, в 2 раза, при изменении соотношения сторон от 1×1 до 2×1 .

Все полученные данные можно использовать для оптимизации конструкции стержневой плиты при проектировании реальных сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Hilton J.* Space grid structures. Oxford: Architectural Press, 2000. 191 p.
- [2] *Беленя Е.И., Балдин В.А., Веденников Г.С. [и др.]* Металлические конструкции. М.: Стройиздат, 1986. 560 с.
- [3] *Горев В.В.* Металлические конструкции: в 3 тт. Т. 2. М.: Высшая школа, 2004. 528 с.
- [4] *Клячин А.З.* Металлические решетчатые пространственные конструкции регулярной структуры. Екатеринбург: Диамант, 1994. 276 с.
- [5] *Кузнецов В.В.* Металлические конструкции. Справочник проектировщика: в 3 тт. Т. 2. М.: АСВ, 1998. 512 с.
- [6] *Мельников Н.П.* Металлические конструкции. Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1980. 776 с.
- [7] *Трофимов В.И., Бегун Г.Б.* Структурные конструкции. М.: Стройиздат, 1972. 272 с.
- [8] *Трущев А.Г.* Пространственные металлические конструкции. М.: Стройиздат, 1983. 215 с.
- [9] *Файбишенко В.К.* Металлические конструкции. М.: Стройиздат, 1984. 336 с.
- [10] Серия 1.466-2 Пространственные решетчатые конструкции из труб типа «Кисловодск». М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1973.
- [11] Серия 1.460-6/81 Структурные конструкции покрытий одноэтажных производственных зданий пролетом 18 и 24 м из прокатных профилей типа ЦНИИСК. Чертежи КМ.
- [12] *Игнатьев В.А.* Расчет регулярных стержневых систем. Саратов: СВВХКУ, 1973.
- [13] *Игнатьев В.А.* Системы перекрестных балок и ферм. М.: ВИНТИ, 1978.
- [14] *Игнатьев В.А.* Редукционные методы расчета в статике и динамике пластинчатых систем. Волгоград: ВИСИ, 1991.
- [15] *Игнатьев В.А.* Регулярные стержневые системы (теория и методы расчета). Волгоград: ВолгГАСУ, 2006. 552 с.

- [16] *Никифоров В.Г.* Оптимизация многостержневых систем по наименьшему весу // Строительная механика, расчет и конструирование сооружений. Вып. 5. М.: Тп. МАРХИ, 1976. 44—52 с.
- [17] Рекомендации по проектированию структурных конструкций. М.: Стройиздат, 1984. 295 с.
- [18] *Хисамов Р.И.* Расчет и конструирование структурных покрытий. Киев: Будівельник, 1981. 48 с.
- [19] *Городецкий А.С., Зоворицкий В.И. [и др.]*. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений. М.: Транспорт, 1981. 143 с.
- [20] *Городецкий А.С., Евзеров И.Д.* Компьютерные модели конструкций. Киев: Факт, 2005. 344 с.
- [21] *Лихтарников Я.М.* Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. М.: Стройиздат, 1979. 319 с.

© Анিকেев И.Д., Голиков А.В., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 25 сентября 2017

Дата принятия к печати: 18 октября 2017

Для цитирования:

Аникеев И.Д., Голиков А.В. Исследование влияния геометрии ортогональных стержневых плит на их напряженно-деформированное состояние // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования»*. 2017. Т. 18. № 4. С. 505—517. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-505-517

Сведения об авторах:

Аникеев Илья Дмитриевич, магистрант кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений института архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета. *Область научных интересов:* пространственные стержневые конструкции, в частности, перекрестно-стержневые системы. *Контактная информация:* E-mail: anikeevd@yandex.ru

Голиков Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений института архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета. *Область научных интересов:* расчет и проектирование высотных сооружений, оценка состояния эксплуатируемых конструкций. *Контактная информация:* E-mail: alexandr_golikov@mail.ru

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE GEOMETRY OF ORTHOGONAL RODS PLATES ON THEIR STRESS-STRAIN STATE

I.D. Anikeev, A.V. Golikov

Volgograd State Technical University
Akademicheskaja str., 1, Volgograd, Russian Federation, 400074

In this work is studied the effect of the geometry of the rods plates on their stress-strain state. The rods plates with the cubic and pyramidal shape of the cell are considered in order to obtain the dependences of internal forces, deformations and frequencies of natural oscillations on the height of

the plate and the aspect ratio of the plate. Spatial design schemes with a variation of the cell shape, the height of the plate, and the aspect ratio have been constructed. A static design is made of the unit load applied to the upper grid and the modal analysis. The values of the forces in the elements, the displacement of the nodes, the frequency and the shape of the natural oscillations are obtained. The graphs describing the dynamics of the stress-strain state change depending on the influencing factors are constructed.

Key words: rods plate, design scheme, stress-strain state, internal forces, design, comparative design, oscillation frequency

REFERENCES

- [1] Hilton J. *Space grid structures*. Oxford: Architectural Press, 2000. 191 p.
- [2] Belenja E.I., Baldin V.A., Vedennikov G.S. *Metallicheskie konstrukcii* [Metal constructions]. Moscow: Strojizdat, 1986. 560 p.
- [3] Gorev V.V. *Metallicheskie konstrukcii*. Moscow: Vysshaja shkola, 2004. 528 p.
- [4] Kljachin A.Z. *Metallicheskie reshchatye prostranstvennye konstrukcii reguljarnoj struktury*. Ekaterinburg: Diamant, 1994. 276 p.
- [5] Kuznecov V.V. *Metallicheskie konstrukcii. Spravochnik proektirovshhika*. Moscow: ASV, 1998. 512 p.
- [6] Melnikov N.P. *Metallicheskie konstrukcii. Spravochnik proektirovshhika*. Moscow: Strojizdat, 1980. 776.
- [7] Trofimov V.I., Begun G.B. *Strukturnye konstrukcii*. Moscow: Strojizdat, 1972. 272 p.
- [8] Trushhev A.G. *Prostranstvennye metallicheskie konstrukcii*. Moscow: Strojizdat, 1983. 215 p.
- [9] Fajbishenko V. K. *Metallicheskie konstrukcii*. Moscow: Strojizdat, 1984. 336 p.
- [10] Serija 1.466-2 *Prostranstvennye reshchatye konstrukcii iz trub tipa «Kislovodsk»*. Moscow: CИTP Gosstroja USSR, 1973. 16 p.
- [11] Serija 2.460-11 *Tipovye detali pokrytij unificirovannyh odnojetazhnyh promyshlennyh zdaniy iz legkih metallicheskikh konstrukcij*. Moscow: CИTP Gosstroja USSR, 1973. 22 p.
- [12] Ignatev V.A. *Raschet reguljarnykh sterzhnevnykh sistem*. Saratov: SVVHKU, 1973.
- [13] Ignatev V.A. *Sistemy perekrestnykh balok i ferm*. Moscow: VINITI, 1978.
- [14] Ignatev V.A. *Redukcionnye metody rascheta v statike i dinamike plastinchatykh sistem* [Reduction methods of analysis in statics and dynamics of plate systems]. Volgograd: VISI, 1991. 142 p.
- [15] Ignatev V.A. *Regulyarnye sterzhnevnye sistemy teorii i metody*. Volgograd: VolgGASU, 2006. 552 p.
- [16] Nikifirov V.G. *Optimizaciya mnogosterzhnevnykh sistem po naimenshemu vesu // stroitel'naya mekhanika, raschet i konstruirovanie sooruzhenij*. Moscow: MARHI, 1981. 44—52 pp.
- [17] *Rekomendacii po proektirovaniju strukturnykh konstrukcij*. Moscow: Strojizdat, 1984. 295 p.
- [18] Hisamov R.I. *Raschet i konstruirovanie strukturnykh pokrytij*. Kiev: Budivelnik, 1981. 48 p.
- [19] Gorodeckij A.S., Zovorickij V.I. *Metod konechnykh elementov v proektirovanii transportnykh sooruzhenij*. Moscow: Transport, 1981. 143 p.
- [20] Gorodeckij A.S., Evzerov I.D. *Kompjuternye modeli*. Kiev: Fakt, 2005. 344 p.
- [21] Lihtarnikov J.M. *Variantnoe proektirovanie i optimizaciya stal'nykh konstrukcij*. Moscow: Strojizdat, 1979. 319 p.

Article history:

Received: 25 September 2017

Accepted: 18 October 2017

For citation:

Anikeev I.D., Golikov A.V. (2017) Research of the influence of the geometry of orthogonal rods plates on their stress-strain state. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(4), 505—517. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-505-517

Bio Note:

Ilya D. Anikeev, student master of the Department of Building Constructions, Foundations and Reliability of Structures, Institute of Architecture and Construction, Volgograd State Technical University. *Research interests*: space rods structures, in particular, cross-rod systems. *Contact information*: E-mail: anikeevd@yandex.ru

Alexander V. Golikov, PhD (in Technical Sciences), Associate Professor of the Department of Building Structures, Foundations and Reliability of Structures, Institute of Architecture and Construction, Volgograd State Technical University. *Research interests*: calculation and designing of high-rise constructions, evaluation of existing structures. *Contact information*: E-mail: alexandr_golikov@mail.ru