

Для цитирования: Вишталов Р.И., Муселемов Х.М., Устарханов О.М. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОТОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):155-166. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-155-166.

For citation: Vishtalov R.I., Muselemov H.M., Ustarkhanov O.M. THE DEFINITION OF THE GIVEN CHARACTERISTICS OF HONEYCOMB FILLERS OF THE DIFFERENT SHAPES. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3): 155-166. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-155-166.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.011.1

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-155-166

Вишталов Р.И.², Муселемов Х.М.³, Устарханов О.М.¹

¹⁻³ Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,

^{1,2} e-mail: dgtu.pgs@mail.ru

³ e-mail: hairulla213@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОТОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ

Аннотация. Цель. Исследование приведенных механических характеристик дискретного заполнителя с восьмигранной, ромбовидной, круглой и квадратной формой ячейки. **Методы.** Определено, что в настоящее время во многих трехслойных конструкциях стали применять дискретный сотовый заполнитель. Геометрическая форма поперечных сечений дискретных заполнителей отличается большим разнообразием. Однако исследований связанных с определением приведенных характеристик дискретных заполнителей, для выбора оптимальной формы, не достаточно. **Результаты.** Установлено, что механические характеристики дискретного заполнителя зависят от коэффициента заполнения ячейки. **Вывод.** Доказано, что условный предел прочности на сжатие заполнителей вдоль оси Z при одном и том же периметре сечения и высоте зависит в основном от коэффициента заполнения и соотношения размеров сот, при этом наибольший предел прочности на сжатие имеет ромбовидная сота.

Ключевые слова: трехслойная конструкция, дискретный заполнитель, периметр ячейки, модуль упругости, модуль сдвига, прочность на сжатие

Rajab I. Vishtalov², Hayrulla M. Muselemov³, Osman M. Ustarkhanov¹

Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,

^{1,2} e-mail: dgtu.pgs@mail.ru,

³ e-mail: hairulla213@mail.ru

THE DEFINITION OF THE GIVEN CHARACTERISTICS OF HONEYCOMB FILLERS OF THE DIFFERENT SHAPES

Abstract. Aim. The article is devoted to theoretical studies given characteristics of the discrete aggregate with octagonal, diamond-shaped, round or square shape of the cell. **Methods.** At the present time it was determined that in many sandwich constructions the discrete honeycomb are begun to apply. The geometric shape of the cross-sections of discrete aggregates is very varied. However, studies related to the definition of the above characteristics of discrete aggregates, to select the optimal form, is not enough. **Results.** It was found that the mechanical characteristics of the discrete filler filling factor are depended on the cell. **Conclusion.** It was proved that the ultimate tensile compression

fillers along Z axis at the same height perimeter secheniyai depends mainly on the ratio of the fill factor and cell sizes, with the highest crush strength has a diamond-shaped cell.

Key words: a three-layer structure, discrete aggregate cell perimeter, elastic modulus, shear modulus, compressive strength

Введение. При определении несущей способности трехслойных конструкций (ТК) необходимо знать приведенные механические и геометрические характеристики дискретного заполнителя. В данной статье в качестве примера рассматривались дискретные заполнители с восьмигранной, ромбовидной, круглой и квадратной формой ячейки (рис.1). В качестве объединяющих параметров были взяты периметр ячейки и высота заполнителя.

Постановка задачи. Для всех рассматриваемых форм сот необходимо определить: коэффициент заполнения, приведенный модуль упругости, приведенный модуль сдвига, предел прочности на сжатие, предел прочности при сдвиге [1,2,3].

При этом периметр поперечного сечения, всех вариантов форм сот, был одинаковым, при различных размерах сторон (r). Высота, каждого варианта сотового заполнителя (c) принималось равной $c=4$ и $c=6$ см.

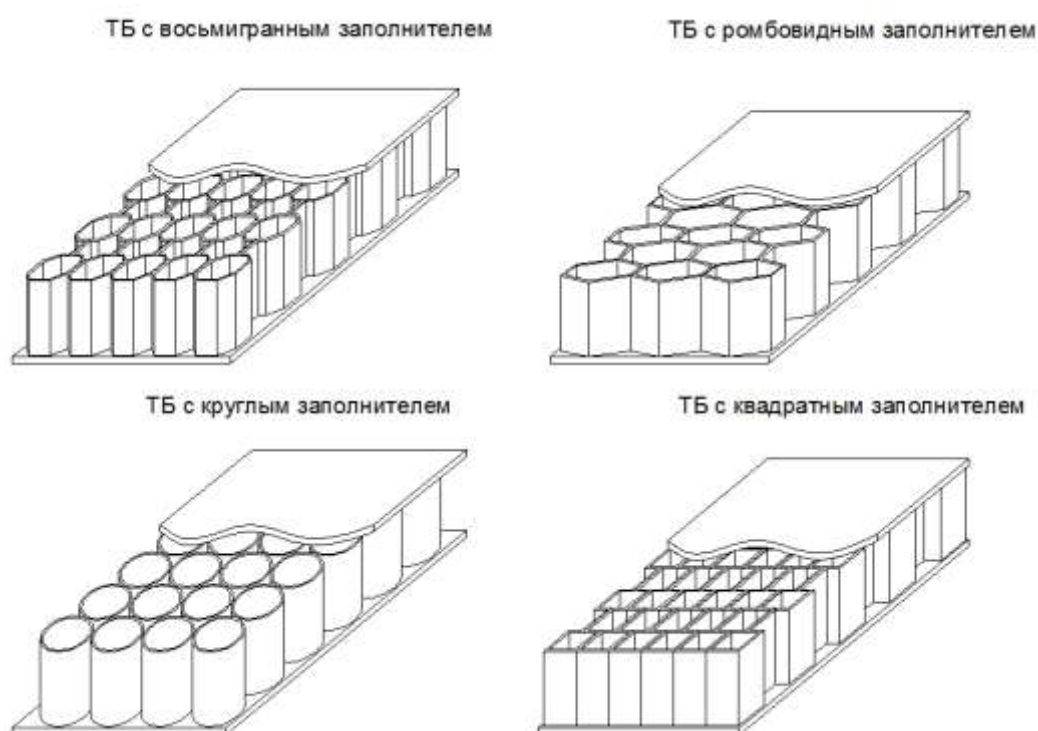


Рисунок 1 – Трехслойные конструкции с сотовыми заполнителями

Методы исследования. Известны методы для определения приведенных характеристик дискретного заполнителя [4,5,6,20,21,22].

В статье для определения приведенных характеристик дискретного заполнителя использовалась методика, изложенная в работах [4,16,17,19].

В соответствии с данной методикой, для определения приведенных характеристик, необходимо выбрать повторяющую элементарную ячейку для каждой формы сот. Для всех форм заполнителей нами были определены повторяющие элементарные ячейки, которые показаны ниже на рисунках

Восьмигранный заполнитель

Восьмигранный сотовый заполнитель с элементарной ячейкой показаны на рис. 2 - 3.

Приведенные характеристики сотовых заполнителей определялись с помощью следующих зависимостей[7,8,9,10]:

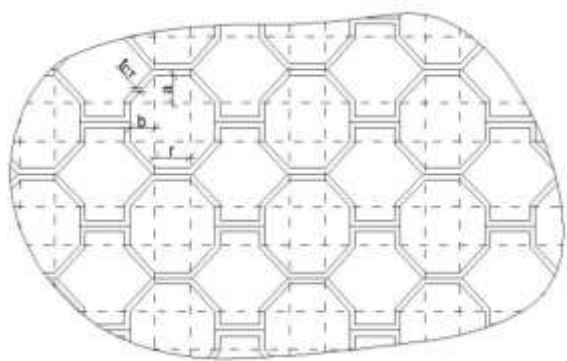


Рисунок 2. — Схема восьмигранного сотового заполнителя

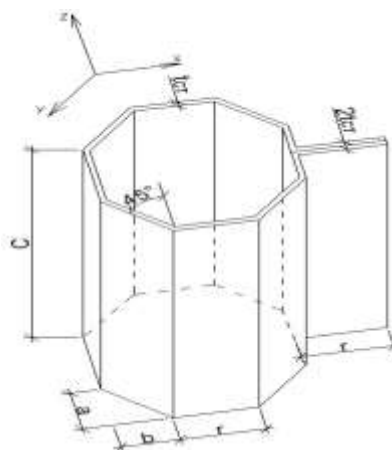


Рисунок 3. — Элементарная ячейка восьмигранного сотового заполнителя

Механические характеристики дискретного заполнителя зависят от коэффициента заполнения ячейки, который равен:

$$k_{np} = \frac{V_{мз}}{V_{яч}}; \quad (1)$$

где:

$V_{мз}$ — объем материала заполнителя:

$$V_{мз} = 10 \cdot t_{cm} \cdot r \cdot c; \quad (2)$$

$V_{яч}$ — объем элементарной ячейки заполнителя без учета клееной прослойки между гранями:

$$V_{яч} = S_{осн.пр} \cdot c; \quad (3)$$

где:

t_{cm} — толщина стенки заполнителя (рисунок 4)

c — высота сотового заполнителя (рисунок 3);

$S_{осн.пр}$ — площадь основания повторяющейся ячейки (рисунок 4);

$$S_{осн.пр} = 4 \cdot R \cdot r; \quad (4)$$

r — сторона элементарной повторяющейся ячейки (рисунок 4);

R — радиус вписанной окружности в ячейку: $R = r \cdot (0,5 + \cos 45^\circ)$

Приведенный модуль упругости в направлении z :

$$E_{33} = E_{мз} \cdot k_{np} = 1,54 \cdot E_{мз} \cdot \frac{t_{cm}}{r}; \quad (5)$$

Приведенный модуль сдвига в плоскости yOz :

$$G_{233} = G_{мз} \cdot k_{np} = \frac{1,2 \cdot G_{мз} \cdot t_{cm}}{r \cdot \sqrt{3}}; \quad (6)$$

Приведенный модуль сдвига в плоскости xOz :

$$G_{133} = G_{мз} \cdot k_{np} = 0,879 \cdot G_{мз} \cdot \frac{t_{cm}}{r}; \quad (7)$$

Приведенный модуль сдвига в плоскости xOy :

$$G_{123} = G_{мз} \cdot k_{np} = 0,291 \cdot E_{мз} \cdot \frac{t_{cm}}{r}; \quad (8)$$

Условный предел прочности заполнителя при сдвиге в плоскости xOz :

$$\tau_{133} = \frac{1,16 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \pi \cdot D_{cm}}{b^2 \cdot r}, \quad (9)$$

где: $b = r \cdot \sin \alpha$.

α - угол наклона сторон формы поперечного сечения сот относительно оси X или Y .

Условный предел прочности заполнителя при сдвиге в плоскости yOz :

$$\tau_{233} = \frac{0,66 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \pi \cdot D_{cm}}{b^2 \cdot r}; \quad (10)$$

Условный предел прочности при сжатии в направлении оси z равен:

$$\sigma_{33B} = k_{np} \cdot k_1 \cdot k_3 \cdot E_{мз} \cdot \left(\frac{t_{cm}}{b}\right)^2. \quad (11)$$

где:

направлению x соответствует цифра 1, y – цифра 2, z – цифра 3; π – математическая константа, равная отношению длины окружности к ее диаметру и равная 3,14.

D_{cm} – цилиндрическая жесткость и она равна: $D_{cm} = \frac{E_{мз} \cdot t_{cm}^3}{12 \cdot (1 - \nu_{мсм}^2)}$;

$\nu_{мсм}$ – коэффициент Пуассона для алюминия, который равен 0,35.

k_{np} – коэффициент прерывистости;

k_1 – коэффициент, зависящий от соотношения размеров сот, определяемый по графику [3];

k_2 – коэффициент, определяется в зависимости от закрепления кромок заполнителя по графику [3];

k_3 – коэффициент, зависящий от материала заполнителя, для алюминиевых сот $k_3 = 0,275$.

$E_{мз}$ – модуль упругости заполнителя ($E_{мз} = 690000 \frac{кгс}{см^2}$ для алюминия);

Расчеты приведенных характеристик восьмигранного заполнителя приведены для следующих размеров:

- 1) $r = 0,625$ см, $c = 4,00$ см; $b = 0,442$ см; $a = 0,442$ см;
- 2) $r = 0,625$ см, $c = 6,00$ см; $b = 0,442$ см; $a = 0,442$ см;
- 3) $r = 0,938$ см, $c = 4,00$ см; $b = 0,663$ см; $a = 0,663$ см;
- 4) $r = 0,938$ см, $c = 6,00$ см; $b = 0,663$ см; $a = 0,663$ см;
- 5) $r = 1,250$ см, $c = 4,00$ см; $b = 0,884$ см; $a = 0,884$ см;
- 6) $r = 1,250$ см, $c = 6,00$ см; $b = 0,884$ см; $a = 0,884$ см.

Полученные приведенные геометрические и механические характеристики для восьмигранного заполнителя приведены в табл. 1–4.

Таблица 1 - Геометрические характеристики восьмигранного заполнителя при $c=4$ см

№	$t_{ст}$, см	r , см	$V_{мз}$, см ³	$V_{яч}$, см ³	k_{np}	$S_{осн.пр}$, см ²
1	0,024	0,625	0,6	7,55	0,079	1,886
2	0,024	0,938	0,9	16,99	0,053	4,248
3	0,024	1,250	1,2	30,18	0,0398	7,544

Таблица 2 - Геометрические характеристики восьмигранного заполнителя при $c=6$ см

№	$t_{ст}$, см	r , см	$V_{мз}$, см ³	$V_{яч}$, см ³	k_{np}	$S_{осн.пр}$, см ²
1	0,024	0,625	0,9	11,32	0,0795	1,8861
2	0,024	0,938	1,35	25,49	0,0529	4,2482
3	0,024	1,25	1,8	45,27	0,0397	7,5089

Таблица 3 - Механические характеристики восьмигранного заполнителя при $c=4$ см

№	r , см	E_{33} , МПа	G_{233} , МПа	G_{133} , МПа	G_{123} , МПа	τ_{133} , МПа	τ_{233} , МПа	σ_{33B} , МПа
1	0,625	4080,38	718316	911,3472	771,0336	9,0357	5,141	29,15
2	0,938	2718,81	478,62	607,24	513,75	2,673	1,521	8,623
3	1,25	2040,19	359,158	455,673	385,517	1,129	0,643	3,644

Таблица 4 - Механические характеристики восьмигранного заполнителя при $c=6$ см

№	r , см	E_{33} , МПа	G_{233} , МПа	G_{133} , МПа	G_{123} , МПа	τ_{133} , МПа	τ_{233} , МПа	σ_{33B} , МПа
1	0,625	4080,38	718316	911,3472	771,0336	9,0357	5,141	29,15
2	0,938	2718,81	478,62	607,24	513,75	2,673	1,521	8,623
2	1,25	2040,19	359,158	455,673	385,517	1,129	0,643	3,644

Ромбовидный заполнитель

Ромбовидный сотовый заполнитель с элементарной ячейкой показаны на рис. 4 и 5. Аналогичные расчеты по определению приведенных характеристик для остальных видов сот выполнены, но в силу ограниченности объема статьи не приводятся в табличной форме [11,12,13,14].

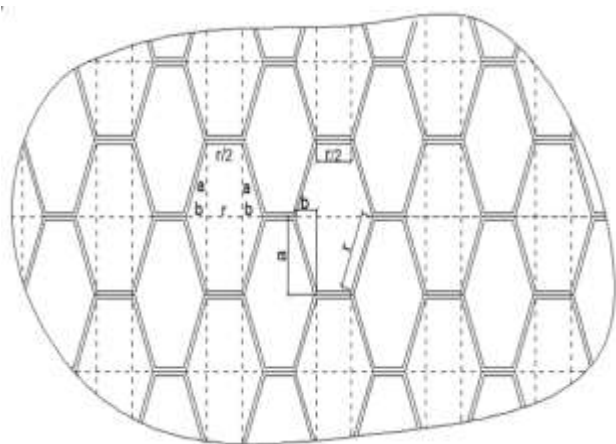


Рисунок 4 – Схема ромбовидного сотового заполнителя

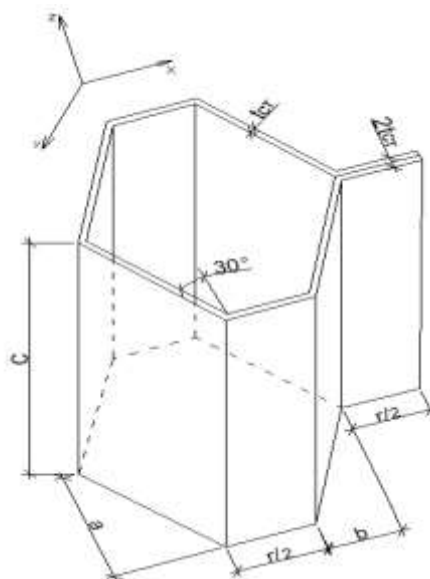


Рисунок 5.— Элементарная ячейка ромбовидного сотового заполнителя

Расчеты приведенных характеристик ромбовидного заполнителя приведены для следующих его размеров:

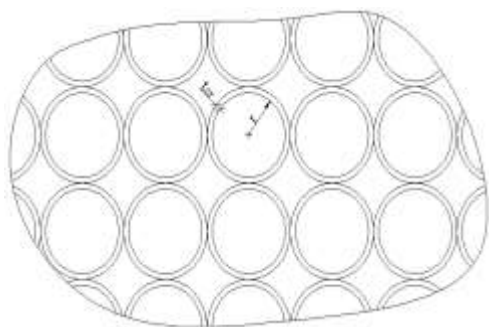
- 1) $r = 1,0$ см, $c = 4,00$ см; $b = 0,50$ см; $a = 0,866$ см;
- 2) $r = 1,0$ см, $c = 6,00$ см; $b = 0,50$ см; $a = 0,866$ см;
- 3) $r = 1,5$ см, $c = 4,00$ см; $b = 0,75$ см; $a = 1,299$ см;
- 4) $r = 1,5$ см, $c = 6,00$ см; $b = 0,75$ см; $a = 1,299$ см;
- 5) $r = 2,0$ см, $c = 4,00$ см; $b = 1,00$ см; $a = 1,732$ см;
- 6) $r = 2,0$ см, $c = 6,00$ см; $b = 1,00$ см; $a = 1,732$ см.

Круглый заполнитель

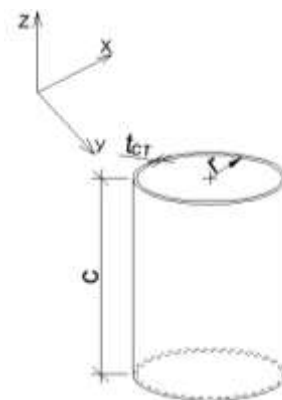
Круглой формы сотовый заполнитель с элементарной ячейкой показаны на рис. 6 и 7. Для определения приведенных характеристик сотового заполнителя из слоя заполнителя (рис.6.) вырежем элементарную повторяющуюся ячейку (рис.7).

Расчеты приведенных характеристик круглого заполнителя приведены при следующих его размерах:

- 1) $r = 0,796$ см, $c = 4,0$ см; 2) $r = 1,194$ см, $c = 4,0$ см;
- 3) $r = 1,592$ см, $c = 4,0$ см; 4) $r = 0,796$ см, $c = 6,0$ см;
- 5) $r = 1,194$ см, $c = 6,0$ см; 6) $r = 1,592$ см, $c = 6,0$ см.



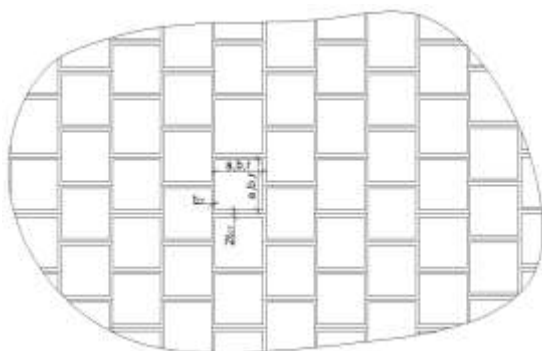
**Рисунок 6— Схема круглого
заполнителя**



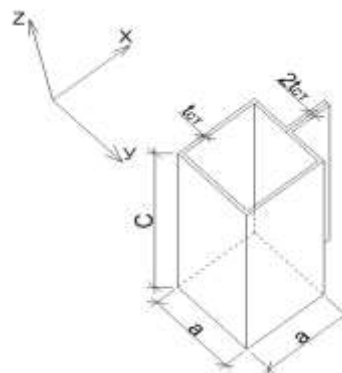
**Рисунок 7— Элементарная ячейка сотового
круглого сотового заполнителя**

Квадратный заполнитель

Квадратный сотовый заполнитель с элементарной ячейкой показаны на рис. 8 и 9.



**Рисунок 8 — Схема квадратного
сотового заполнителя**



**Рисунок 9 — Элементарная ячейка
квадратного сотового заполнителя**

Расчеты приведенных характеристик квадратного заполнителя приведены для следующих его размеров:

- 1) $r = 1,250$ см, $c = 4,00$ см; 2) $r = 1,875$ см, $c = 4,00$ см;
- 3) $r = 2,500$ см, $c = 4,00$ см; 4) $r = 1,250$ см, $c = 6,00$ см;
- 5) $r = 1,875$ см, $c = 6,00$ см; 6) $r = 2,500$ см, $c = 6,00$ см.

Расхождение между теоретическими и экспериментальными данными, представлено в таблице 5.

Таблица 5 - Расхождение между теоретическими и экспериментальными данными (в %)

	восьмигранный			ромбовидный			круглый			квадратный		
	Г, см			Г, см			Г, см			Г, см		
	0,625	0,938	1,25	1,0	1,5	2,0	0,796	1,194	1,592	1,25	1,875	2,5
	σ, МПа									σ, МПа		
Теория	29,15	8,623	3,644	23,989	7,129	2,9441	16,691	7,418	4,173	5,278	1,563	0,659
Экспер.	24,42	7,18	2,99	20,031	5,910	2,426	13,821	6,113	3,426	4,39	1,29	0,542
Расход.	16,2	16,7	17,8	16,5	17,1	17,6	17,2	17,6	17,9	16,8	17,3	17,8

Результаты расчета напряжений в зависимости от размера r для различных форм дискретного заполнителя приведены на рисунках 10-14.

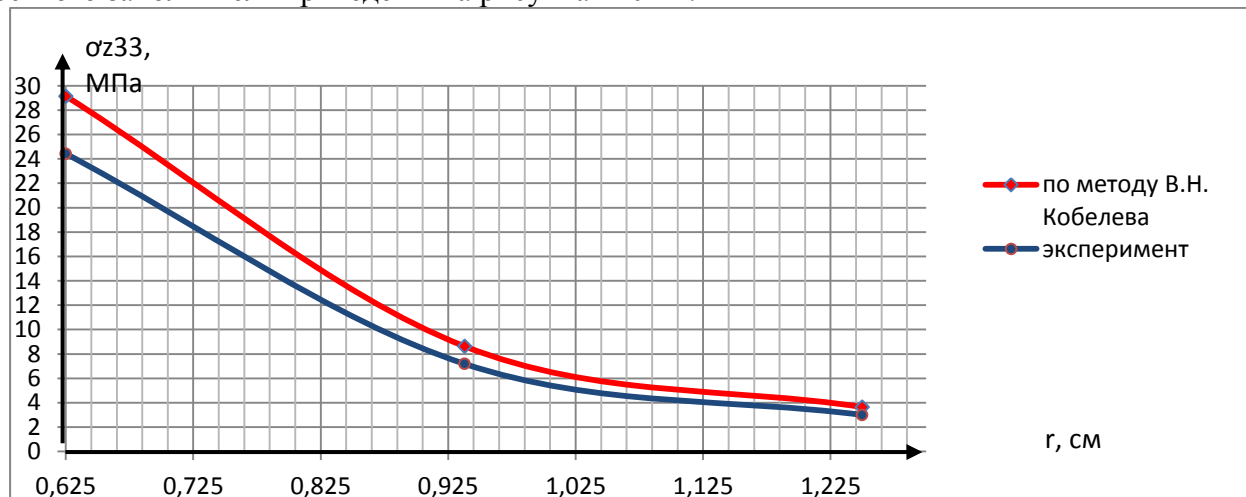


Рисунок 10 – График изменения напряжения в зависимости от r для восьмигранного заполнителя

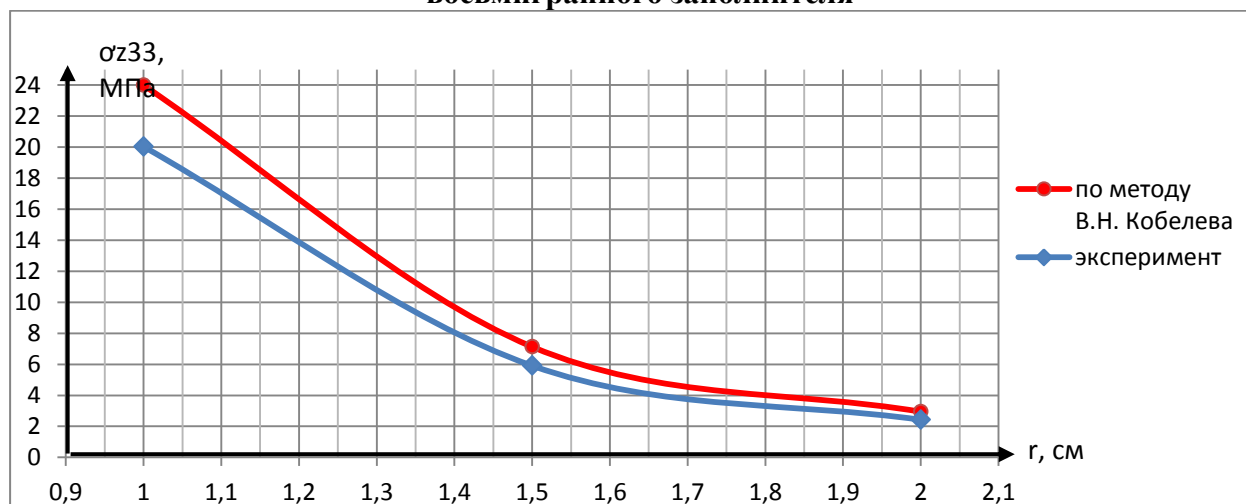


Рисунок 11 – График изменения напряжения в зависимости от r для ромбовидного заполнителя

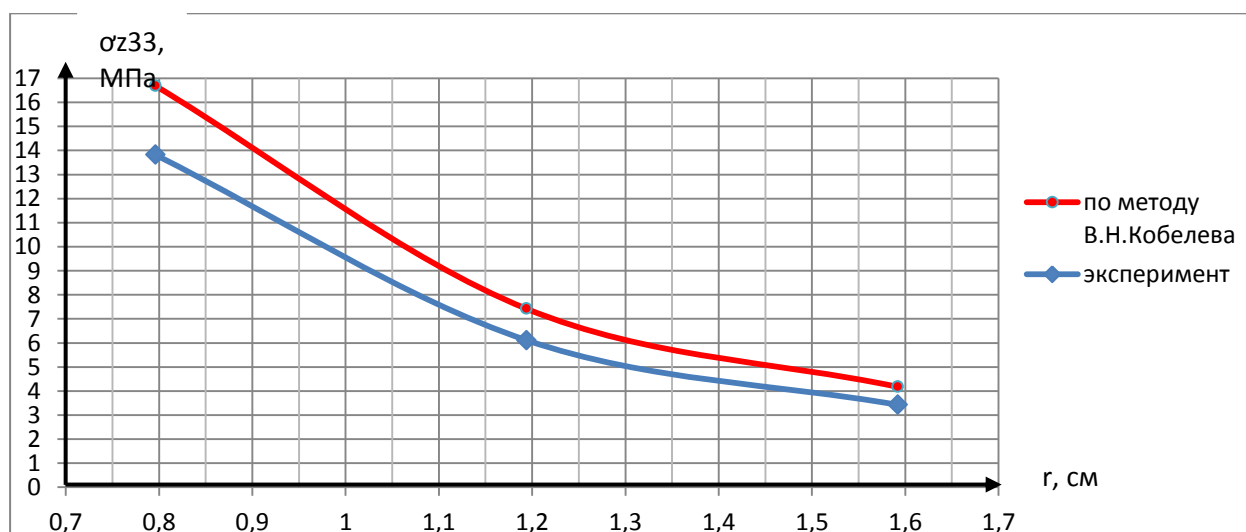


Рисунок 12 – График изменения напряжения в зависимости от r для круглого заполнителя

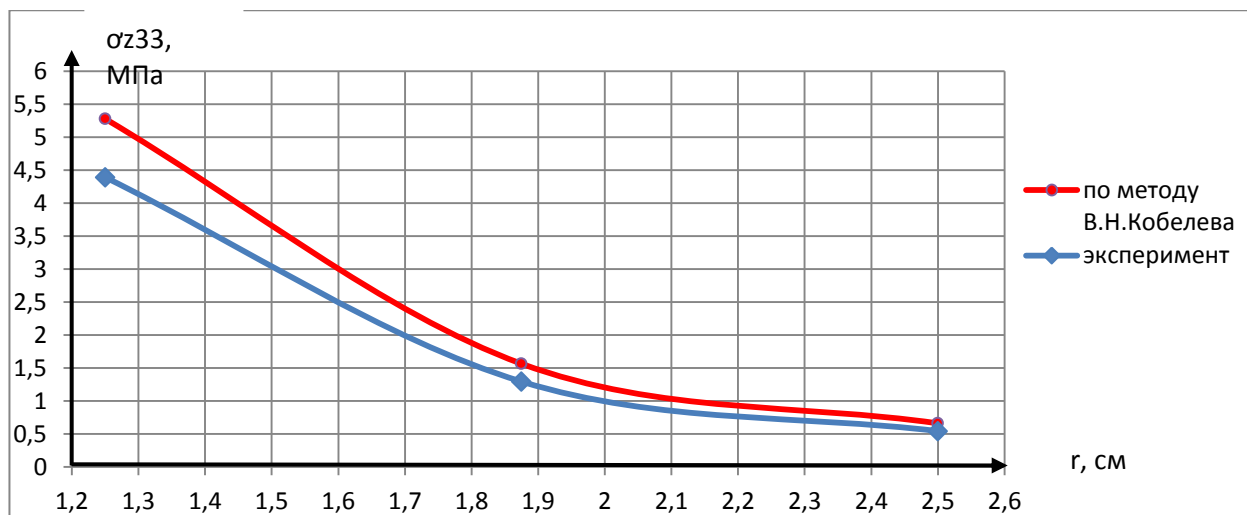


Рисунок 13 – График изменения напряжения в зависимости от r для квадратного заполнителя

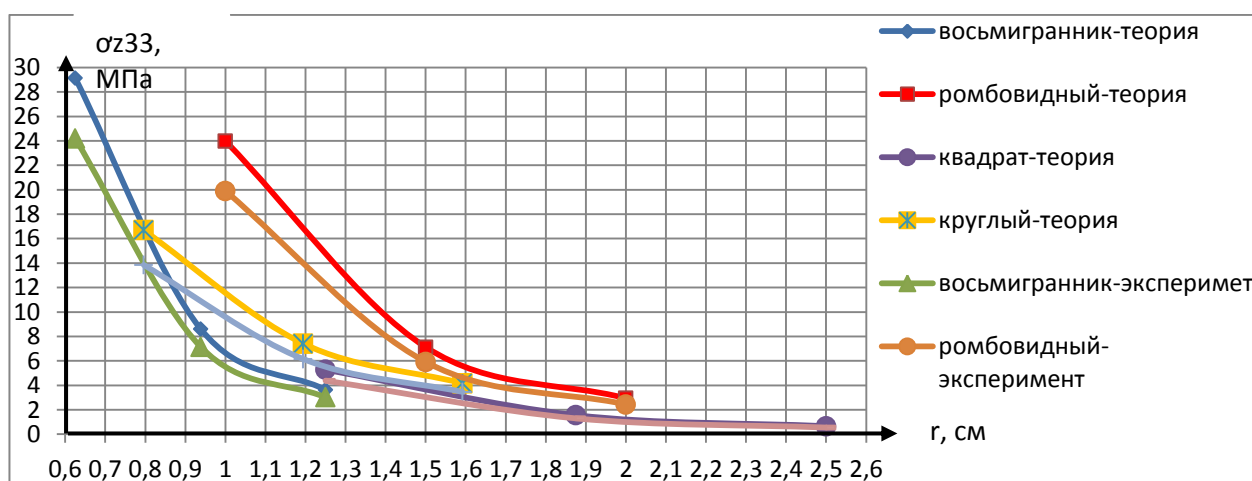


Рисунок 14 – График изменения напряжения в зависимости от r для различных форм дискретного заполнителя.

Обсуждение результатов. Результаты теоретических исследований были сравнены с полученными авторами экспериментальными данными [15,16,18,19].

Анализ полученных результатов показал:

1. Для одной и той же формы поперечного сечения заполнителя при одном и том же периметре сечения коэффициент заполнения (k_{np}) дискретного заполнителя не зависит от высоты заполнителя;
2. С изменением формы поперечного сечения коэффициент заполнения при одном и том же периметре меняется. Для квадратной формы сот коэффициент заполнения на 27,8% больше, чем у ромбовидной. Коэффициент заполнения квадратного заполнителя на 31,4% больше, чем у восьмигранной формы. Коэффициент заполнения квадратного заполнителя на 47,6% больше, чем у круглой.
3. Условный предел прочности на сжатие заполнителей вдоль оси Z при одном и том же периметре сечения и высоте зависит в основном от коэффициента заполнения и соотношения размеров сот. При этом наибольший предел прочности на сжатие имеет восьмигранная сота, ее прочность на сжатие относительно ромбовидной на 17,4% больше, относительно круглой формы на 42,7%, относительно квадратного на 81,8%.
4. Сравнение теоретических и экспериментальных данных показало, что расхождение между условными пределами прочности составляет 16- 18%.

Вывод. Условный предел прочности на сжатие заполнителей вдоль оси Z при одном и том же периметре сечения и высоте зависит в основном от коэффициента заполнения и соотношения размеров сот. Наибольший предел прочности на сжатие имеет ромбовидная сота.

Библиографический список:

1. Двоеглазов И.В., Халиулин В.И. К вопросу проведения экспериментальных исследований прочности складчатых заполнителей типа z-гофр на поперечное сжатие. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2012. – Т.5 - № 2 - с.275-280.
2. Иванов А.А., Гофин М.Я. Механика сотовых заполнителей. Справочное пособие. Московский лесотехнический институт. 1989. -Т1. - 315с.
3. Ильдияров Е.В. Экспериментально-теоретические исследования напряженно-деформированного состояния трехслойной кровельной панели с ортотропным средним слоем. Строительная механика и расчет сооружений. 2011- №6 - с.11.
4. Кобелев В.Н., Коварский Л.М., Тимофеев С.И. Расчет трехслойных конструкций. М.: Машиностроение, 1984. - с.22-61.
5. Кобелев В.Н., Сухинин С.Н., Устарханов О.М., Волхонский А.Е. Расчет прочности и устойчивости трехслойных конструкций. Махачкала, ДГТУ, 2004. 154 с.
6. Панин В.Ф., Гладков Ю.А. Конструкции с заполнителем. Справочник. М.: Машиностроение, 1991. с.15-60.
7. Паймушин В.Н. Теория устойчивости трехслойных пластин и оболочек. Этапы развития, современное состояние и направления дальнейших исследований. Известия РАН, Механика твердого тела. 2001.- №2 - с.148-162.
8. Паймушин В.Н., Иванов В.А. Формы потери устойчивости однородных и трехслойных пластин при чистом сдвиге в тангенциальных направлениях. Механика композитных материалов. 2000, Т. 36 - №2 - с. 215-228.
9. Паймушин В.Н., Шалашилин В.И. Уточненные уравнения среднего изгиба трехслойных оболочек и сдвиговые формы потери устойчивости. Доклады РАН. 2003.- Т.392. - №2 - с.195-200.
10. Паймушин В.Н., Вялков А.Е. Уточненная геометрическая нелинейная теория трехслойных цилиндрических оболочек с трансверсально-мягким заполнителем произвольной толщины. Известия вузов. Авиационная техника, 2002, №3 - с.10-14.
11. Паймушин В.Н. Теоретико-экспериментальное определение осредненных упругих и прочностных характеристик складчатого заполнителя в виде М-гофра. Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки. 156:4 (2014), 60–86.
12. Сухинин С.Н. Прикладные задачи устойчивости многослойных композитных оболочек. М.: Физматлит. 2010. - 241 с.
13. Устарханов О.М., Муселемов Х.М., Киявов У.А., Устарханов Т.О. Определение оптимальных размеров и форм сотового заполнителя для трехслойной конструкции при действии статической нагрузки. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2013. - Т.30. - №3 - с.48-54.
14. Устарханов О.М., Муселемов Х.М., Устарханов Т.О. Экспериментальные исследования влияния клея и размеров ячейки на несущую способность трехслойной балки. Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки. 2012.- №2 - с.91-95.
15. Устарханов О.М., Кобелев В.Н., Булгаков А.И., Кулиева Ш.С. Экспериментальные исследования трехслойных балок для оценки влияния краевых эффектов на напряженно-деформированное состояние. Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки, 2005. - с.75-78.
16. Устарханов О.М., Алибеков М.С., Устарханов Т.О. Экспериментальное исследование прочности конического заполнителя для трехслойных конструкций. Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2014. - №9 - с. 54-59.

17. Устарханов О.М., Муселемов Х.М., Устарханов Т.О. Экспериментальные исследования трехслойных балок с пирамидальным дискретным заполнителем. Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2016.- №2 - с.59-64.
18. Устарханов О.М., Устарханов Т.О., Муселемов Х.М. Экспериментальные исследования влияния клея на несущую способность трёхслойных балок. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2011.- Т.20 - №1- с.86-93.
19. Устарханов О.М., Кобелев В.Н., Кобелев В.В., Абросимов Н.А. Анализ экспериментального исследования трехслойных балок с металлическим сотовым заполнителем и композиционными несущими слоями//Сборник международной научно-технической конференции «Современные научно-технические проблемы гражданской авиации». МГТУГА. 1999. - С.32-33.
20. Heimbs S., Kilchert S., Fischer S., Klaus M., Baranger E. Sandwich structures with folded core: mechanical modeling and impact simulations [Text]: *SAMPE Europe international conference*, Paris, 2009, pp.324-31.
21. Williamson JE and Lagace PA Response mechanisms in the impact of graphitepoxy honeycomb sandwich panels.*Proc Slh Tech Conf Am Soc Composites*, Cleveland OH. 1993,pp.287-297.
22. Burton WS and Noor AK Assessment of computational models for sandwich panels and shells.*Comp Meth Appl Mech Eng*. 1995, vol.124, no.1-2, pp.125-151.

References:

1. Dvoeglazov I.V., Haliulin V.I. Experimental studies of the strength of folded fillers of the type with Z-corrugations in transverse compression. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo azerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroljova (nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta)* [Vestnik of Samara state aerospace University. academician S. P. Korolev (national research University)]. 2012, vol. 5, no.2, pp. 275-280. (In Russian)
2. Ivanov A.A., Gofin M.J. Mechanics of cell aggregates. Reference book. *Moskovskij lesotekhnicheskij institut* [Moscow Institute of forestry]. 1989, vol.1, p.315. (In Russian)
3. Eldarov E.V. Theoretical and Experimental studies of the stress-strained state of sandwich roof panels with orthotropic middle layer. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij* [Structural mechanics and calculation of structures]. 2011, no.6, p.11. (In Russian)
4. Kobelev V.N., Kovarskii L.M., Timofeev S. I. Calculation of sandwich structures. *Moscow: Mashinostroenie*. 1984, pp. 22-61. (In Russian)
5. Kobelev V.N., Sukhinin S.N., Ustarhanov O.M., Volkhonsky A.E. Calculation of strength and stability of sandwich structures. *Дagestanskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet*, [Daghestan State Technical University]. 2004, 154p. (In Russian)
6. Panin V.F., Gladkov, Y.A. Design with filler. Reference Book, *Moscow: Mashinostroenie*, 1991, pp.15-60. (In Russian)
7. Paimushin V.N. Stability theory of sandwich plates and shells (Stages of development, current state and directions of further research). *Izvestija RAN. Mehanika tverdogo tela*. [Izvestia RAS, Mechanics of solids]. 2001, no. 2, pp. 148-162. (In Russian)
8. Paimushin V.N., Ivanov V.A. The buckling of homogeneous and sandwich plates in pure shear in tangential directions. *Mehanika kompozitnyh materialov* [Mechanics of composite materials]. 2000, vol.36, no.2, pp.215-228. (In Russian)
9. Paimushin V.N., Shalashilin V.I. Refined equations of the middle bending of sandwich shells and shear buckling. *Doklady RAN* [The reports of the Russian Academy of Sciences], 2003, vol. 392, no.2, pp.195-200. (In Russian)
10. Paimushin V.N., Vyalkov A.E. The geometrical nonlinear theory of three-layer cylindrical shells with a transversely soft core of arbitrary thickness. *Izvestiya vuzov. Aeronautical engineering*, 2002, no.3, pp.10-14. (In Russian)
11. Paimushin V.N. Theoretical and experimental determination of average elastic and strength characteristics of the folded filler in the form of M-corrugation. *Uchenye zapiski Kazanskogo*

- universiteta. *Fiziko-matematicheskie nauki Kazan*. [Scientists notes of the Kazan University. Physics and mathematics Kazan], 2014, 156:4 60-86. (In Russian)
12. Sukhinin.N. Applied problems of stability of multilayered composite shells. *Moscow: Fizmatlit*, 2010, 241 p. (In Russian)
 13. Ustarhanov O.M., Muselemov H.M., Kiyavov U.A., Ustarhanov T.O. Determination of optimal sizes and shapes of honeycomb core for sandwich structures under static load. *Vestnik Daghestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. [Herald of Daghestan State Technical University. Technical science]. 2013, vol.30, no.3, pp. 48-54. (In Russian)
 14. Ustarhanov.M. X Musalimov.M. Ustarhanov T. O. Experimental study of the effect of the adhesive and the cell dimensions on the bearing capacity of sandwich beams. *Izvestija vuzov. Severo-kavkazskij region. Tehnicheskie nauki* [Proceedings of the universities. North-Caucasian region. Technical science]. 2012, no. 2, pp. 91-95. (In Russian)
 15. Ustarhanov O.M., Kobelev V.N., Bulgakov A.I., Kuliyeveva S.S. Experimental studies of three-layer beams to assess the impact of boundary effects on the stress-strain state. *Izvestija vuzov. Severo-kavkazskij region. Tehnicheskie nauki* [Proceedings of the universities. North-Caucasian region. Technical science], 2005, pp. 75-78. (In Russian)
 16. Ustarhanov O.M., Alibekov M.S., Ustarhanov T.O. Experimental investigation of the strength of the conical filler for sandwich structures. *News of higher educational institutions. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie* [Proceedings of the higher educational institutions. Engineering], 2014, no.9, pp.54-59. (In Russian)
 17. Ustarhanov O.M., Ustarhanov T.O., Muselemov H.M. Experimental study of sandwich beams with a pyramidal discrete filler. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie* [Proceedings of the higher educational institutions. Engineering], 2016, no.2, p.59-64. (In Russian)
 18. Ustarhanov O.M., Ustarhanov T.O., Muselemov H.M. Experimental study of the effect of the glue on the bearing capacity of three-layer beams. *Makhachkala, Vestnik Daghestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. [Herald of Daghestan State Technical University. Technical science]. vol.20, no.1, 2011, pp. 86-93. (In Russian)
 19. Ustarhanov O.M., Kobelev V.N., Kobelev V.V., Abrosimov N.A. Analysis experimental study of sandwich beams with a metallic honeycomb core and supporting layers of composite. *Sbornik mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Sovremennye nauchno-tehnicheskie problemy grazhdanskoj aviatsii»*. MGTUGA.[Scientific-technical International conference "Modern scientific-technical problems of civil aviation"]. 1999, pp.32-33. (In Russian)
 20. Heimbs S., Kilchert S., Fischer S., Klaus M., Baranger E. Sandwich structures with folded core:mechanical modeling and impact simulations. *SAMPE Europe international conference*, Paris, 2009, pp.324-31.
 21. Williamson J.E., Lagace P.A. Response mechanisms in the impact of graphitepoxy honeycomb sandwich panels.*Proc Slh Tech Conf Am Soc Composites*, Cleveland OH. 1993, pp.287-297.
 22. Burton W.S., Noor A.K. Assessment of computational models for sandwich panels and shells. *Comp Meth Appl Mech Eng*. 1995, vol.124, no.1-2, pp.125-151.

Сведения об авторах.

Вишталов Раджаб Исабекович – кандидат технических наук, доцент, кафедры строительных конструкций гидротехнических сооружений.

Муселемов Хайрулла Магомедмуратович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры строительных конструкций и гидротехнических сооружений.

Устарханов Осман Магомедович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций и гидротехнических сооружений, архитектурно-строительного факультета.

Authors information.

Rajab I. Vishtalov– Candidate of technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction of hydraulic engineering constructions.

Hayrulla M. Muselemov – candidate of technical sciences, senior lecturer of the Department of structures and hydraulic structures.

Osman M. Ustarhanov– doctor of technical science, Professor, head of Department of structures and hydraulic structures, faculty of architecture and construction.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 15.06.2016.

Принята в печать 29.07.2016.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 15.06.2016.

Accepted for publication 29.07.2016.