

УДК 539.3

*Устарханов О.М., Алибеков М.С., Устарханов Т.О.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИЗМАТИЧЕСКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

*Ustarkhanov O.M., Alibekov M.S., Ustarkhanov T.O.*

## RESEARCH OF PARAMETERS PRISMATIC PLACEHOLDER WITH THE STATIC LOADING

*Работа посвящена экспериментальным исследованиям параметров призматического заполнителя при статическом нагружении. Данные экспериментальные исследования позволяют использовать их при проектировании трехслойных конструкций в космической, авиационной технике, а так же в строительстве и машиностроении, что представляет интерес для инженерно-технических работников и проектировщиков.*

**Ключевые слова:** конический заполнитель, статическое нагружение, сжатие, сдвиг

*The work is devoted to experimental research of parameters of prismatic aggregate at static loading. The data of experimental researches allow to use them in the design of three-layer structures in space, aviation techniques, as well as in construction and machinery that is of interest for technical workers and designers.*

**Key words:** prismatic placeholder, static loading, compression, shear.

Для проверки теоретических зависимостей прочности, модуля упругости и сдвига, описывающих эти параметры, проведено экспериментальное исследование прочности образцов дискретного усиленного призматического заполнителя.

В настоящее время накоплен значительный опыт испытаний дискретных заполнителей. Стандартом установлены геометрические и прочностные параметры, методы изготовления, обработки и испытания клеевых сотовых заполнителей с шестигранной формой ячейки и сот [1]. При постановки эксперимента призматическим заполнителем можно использовать этот опыт с учётом ряда особенностей, определяемых сложной дискретной пространственной структурой заполнителя и способа их изготовления.

Для определения модуля упругости и предела прочности на сжатие были изготовлены образцы призматического заполнителя, квадратные в плане. Поперечное сечение образца включало 16 ячеек [2].

В качестве материала заполнителя были взяты алюминиевая фольга толщиной  $t_{ct} = 0,1$  мм и алюминий Д-19 толщиной  $t_{ct} = 0,1$  мм. Испытанию подвергались три серии образцов соответственно с размерами основания  $2 \times 2$ ;  $3 \times 3$ ;  $4 \times 4$  см и высотой 4; 5; 6 см. В каждой серии испытывалось по 6 образцов. При испытании образцы устанавливались на нижнюю плиту разрывной машины Р-10. Известно, что у машин такого типа имеет место большая погрешность отсчёта сжимающего усилия на границах поддиапазонов. В связи с этим, сжимающая сила измерялась при помощи дополнительных тензодатчиков, которые располагались на диаметрально противоположных сторонах силового датчика, изготовленного из алюминиевого цилиндра, диаметром 76 мм и толщиной стенки 0,5 мм. Высота цилиндра равнялась 10 см. Этот цилиндр размещался между испытуемым образцом и верхней нагрузочной плитой разрывной машины. Датчики подключались по мостовой схеме к усилителю «Топаз-3», к выходу которого подключался самописец «Эндим 621.02». Калибровка измерительного устройства осуществлялась при помощи динамометра ДОС-3. Одновременно с этим производилась калибровка датчика перемещения. Датчик перемещений изготовлен на основе индикатора перемещений типа ИЧ установленного на жестком основании. На том же основании крепилась упругая пластина с тензодатчиками, которая находилась в непосредственном контакте со штоком индикатора. Регистрация перемещений осуществлялась самописцем «Эндим 621.02», через усилитель «Топаз 3». Таким образом, в ходе испытаний непрерывно измерялись величина сжимающей силы  $P$  и деформации заполнителя в направлении оси  $Z$  см. [2]. Общий вид установки на сжатие приведён на рис. 1. По измерённой максимальной величине сжимающей силы рассчитывался предел прочности на сжатие  $\sigma_{z3}$  по формуле (1):

$$\sigma_{z3} = \frac{P_{\max}}{F}, \quad (1)$$

Где  $F=16(a \times a)$ - площадь поперечного сечения образца в плоскости  $XOY$ .

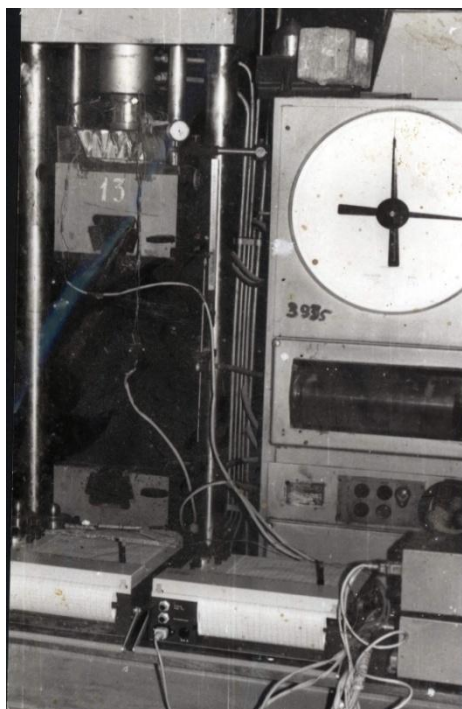
Эта величина сравнивалась с расчётной величиной предела прочности на сжатие, определяемого по формуле (2):

$$\sigma_{z3} = K_{np} \sigma_{кр}, \quad (2)$$

где:

$$\sigma_{кр} = 0.487 \frac{\pi^2 E M_3}{1 - \nu^2} \left( \frac{2t_{ct}}{b} \right)^2 \cos \frac{\alpha}{2};$$

$$K_{np} = \frac{4t_{ct}}{a} \sqrt{4 + \left( \frac{a}{c} \right)^2}.$$



**Рисунок 1** - Общий вид установки для испытаний на сжатие

Зависимость деформации заполнителя  $\Delta w$  от величины сжимающей силы  $P$  позволяет определить модуль сжатия заполнителя.

$$E_{z_3} = \frac{P \cdot C}{F \Delta w} \quad (3)$$

Теоретическое значение величины модуля при сжатии:

$$E_{z_3} = 4E_{m3} \frac{t_{ct}}{a} \sqrt{4 + \left(\frac{a}{c}\right)^2} \quad (4)$$

Здесь  $E_{m3}$  – модуль Юнга материала заполнителя;

$\sigma_{m3}$  – модуль сдвига материала заполнителя;

$\nu$  – коэффициент Пуассона материала заполнителя;

$t_{ct}$  – толщина стенки конического заполнителя;

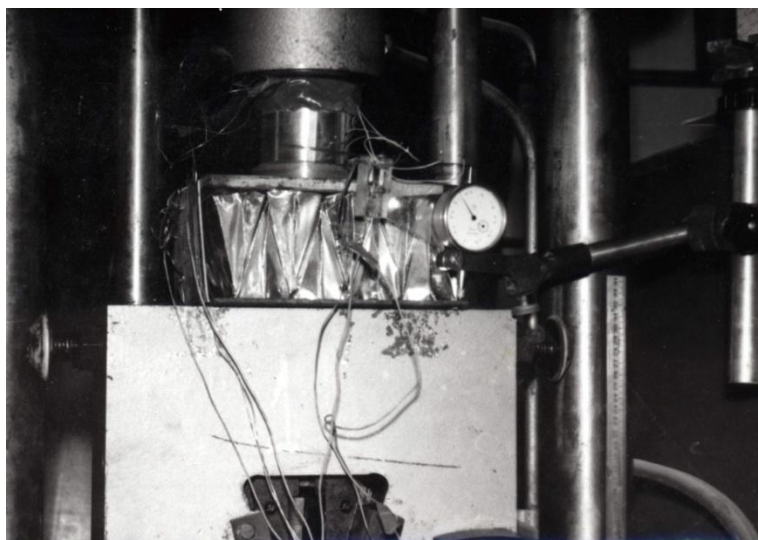
$a$  – дна стороны основания пирамидального заполнителя;

$c$  – высота заполнителя;

$\Delta W$  – сближение несущих слоев по нормали к срединной поверхности заполнителя;

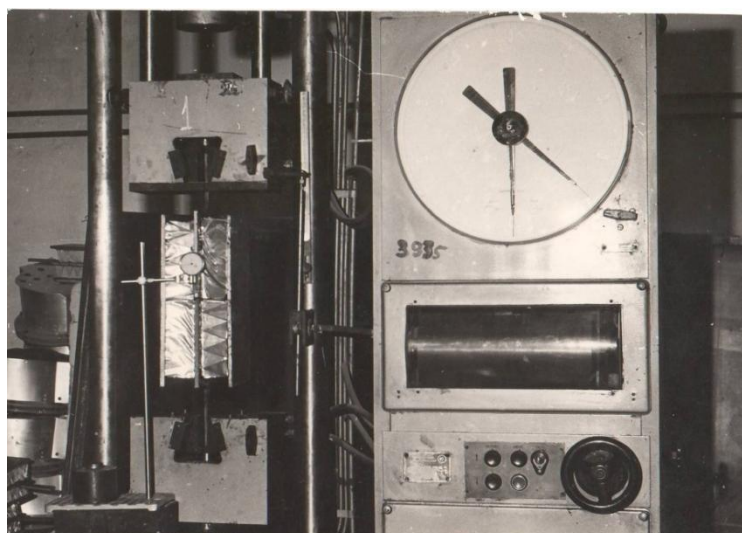
На рис. 2 показаны испытания образцов дискретного конического заполнителя на сжатие.

Сравнение данных теоретических исследований с экспериментальными, при сжатии образцов приведены в таблице 1.



**Рисунок 2** - Испытание конического заполнителя на сжатие

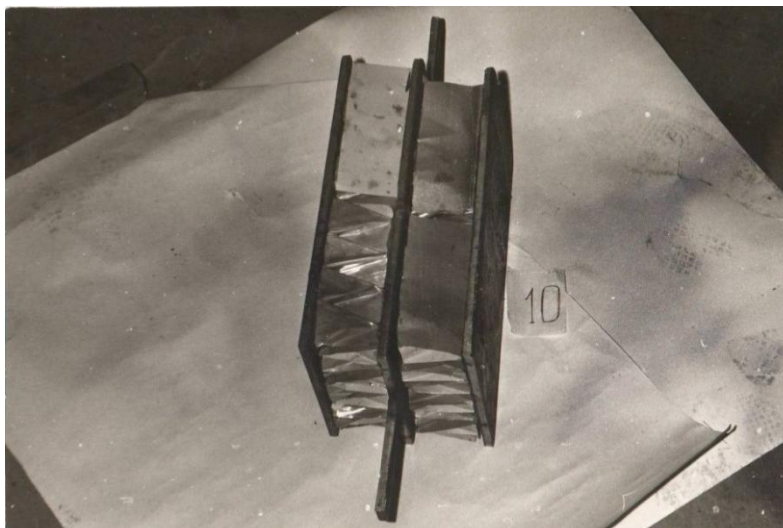
Для экспериментального исследования заполнителя на сдвиг образцы испытывались на установке показанной на рис. 3.



**Рисунок 3** - Общий вид установки для испытания на сдвиг

Геометрические характеристики выбраны согласно рекомендаций, приведенных в [2]. Вид образца, испытываемого на сдвиг, показан на рис.4.

Образцы для испытаний на сдвиг изготавливались из тех же материалов, что и образцы для испытаний на сжатие. Были изготовлены и испытаны три серии образцов. При испытании между образцом и верхним захватом устанавливался тот же цилиндр с тензодатчиками, что и при испытании на сжатие и тот же датчик перемещений. Калибровка датчика растягивающей силы осуществлялась динамометром ДОР-3. В ходе испытаний измерялись величина растягивающей силы  $P$  и расстояние между средними пластинами  $\Delta$  в направлении оси  $X$ .



**Рисунок 4** - Вид образца испытываемого на сдвиг

По измеренной предельной растягивающей силе  $P_{np}$  рассчитывался предел прочности при сдвиге по формуле (5):

$$\tau_{xoz_3} = \frac{P_{np}}{4F} \quad (5)$$

Эта величина сравнивалась с расчетной величиной предела прочности при сдвиге, определенного по формуле:

$$\tau_{xoz} = K_3 K_2 \frac{\pi D}{a^2 2t} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \quad (6)$$

где  $K_3 = \frac{3t_{cm}}{a} \sqrt{4 + \left(\frac{a}{c}\right)^2}$ ,  $K_2$  - в зависимости от соотношения сторон ромбовидного элемента заполнителя и способов опирания этого элемента принят равным для высоты заполнителя:  $C=4$  см.,  $K_2=7.95$ ;  $C=5$  см.,  $K_2=7.75$ ;  $C=6$  см.,  $K_2=7.6$ ;

Зависимость перемещения  $\Delta$  от величины растягивающей силы позволяет определить модуль сдвига заполнителя в плоскости XOZ.

$$G_{xoz_3} = \frac{P \cdot C}{\Delta F}, \quad (7)$$

Теоретическое значение модуля сдвига заполнителя в плоскости XOZ равно:

$$G_{xoz_3} = G_{M3} \frac{3t_{cm}}{a} \sqrt{4 + \left(\frac{a}{c}\right)^2}. \quad (8)$$

Сравнительные данные расчетных и экспериментальных значений при сдвиге приведены в таблице 2. На рис 5 результаты экспериментальных данных показаны в графическом виде.

Анализ табличных данных показывает, что расхождение значений параметров, определенных из теоретических зависимостей с экспериментальными данными не превышает 20%.

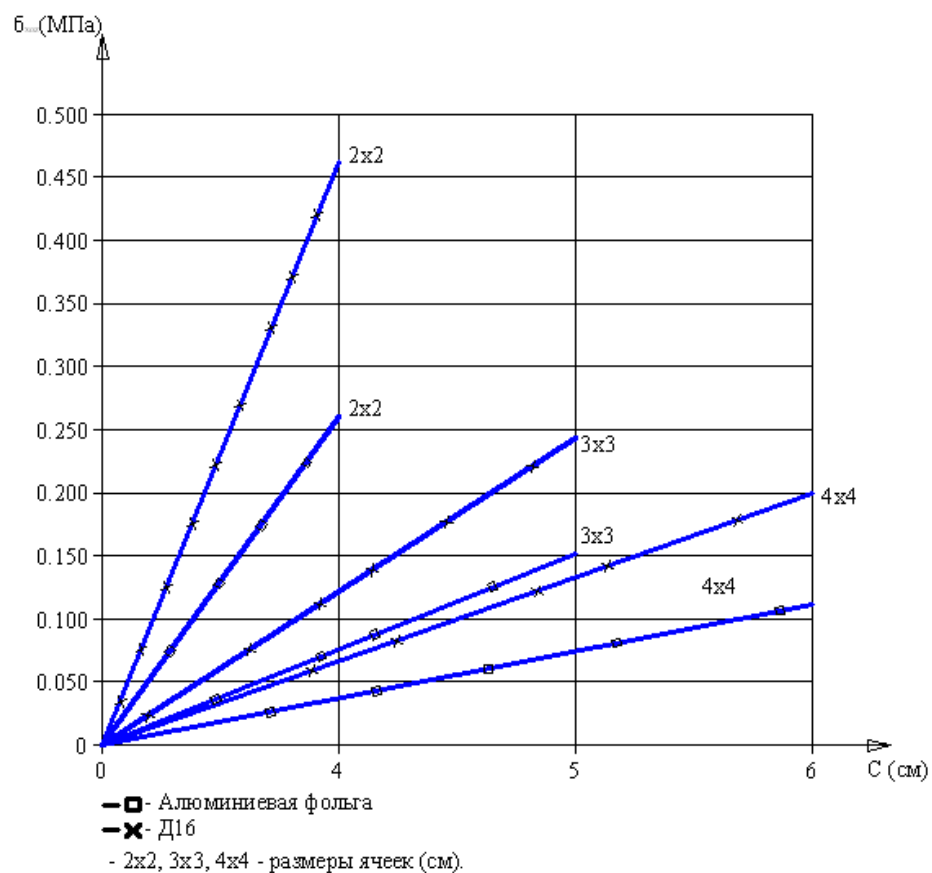
**Таблица 1 - Теоретические и экспериментальные характеристики прочности призматического заполнителя при сжатии**

№ варианта заполнителя	Геометрические размеры			Предел прочности заполнителя на сжатие, эксперимент., $\sigma_{\text{хоз3}}$ (МПа)	Предел прочности заполнителя на сжатие, теоретич., $\sigma_{\text{хоз3}}$ (МПа)	Расхождения между теоретич. и эксперимент. данными %	Приведенный модуль упругости заполнителя на сжатие эксперимент., $E_{\text{хоз3}}$ (МПа)	Приведенный модуль упругости заполнителя на сжатие теоретич., $E_{\text{хоз3}}$ (МПа)	Расхождения между теоретич. и эксперимент. данными %
	ах а (см <sup>2</sup> )	с (см)	t (см)						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Алюминиевая фольга									
1	2x2	4	1.10 <sup>-2</sup>	0.259	0.318	18.5	1603.6	2004.5	20
2	3x3	5	1.10 <sup>-2</sup>	0.152	0.122	20.1	1228	1497.6	18
3	4x4	6	1.10 <sup>-2</sup>	0.112	0.094	15.4	1202.3	1484.3	19
Д-16									
1	2x2	4	1.10 <sup>-2</sup>	0.462	0.549	15.9	1936.5	2405.6	19.5
2	3x3	5	1.10 <sup>-2</sup>	0.243	0.211	13.2	1671.4	1797.2	7
3	4x4	6	1.10 <sup>-2</sup>	0.199	0.16	19.4	1585.3	1781.2	11

**Таблица 2 - Теоретические и экспериментальные характеристики прочности призматического заполнителя при сдвиге**

№ варианта заполнителя	Геометрические размеры			Предел прочности заполнителя на сдвиг, эксперимент., $\sigma_{\text{хоз3}}(\text{МПа})$	Предел прочности заполнителя на сдвиг, теоретич., $\sigma_{\text{хоз3}}(\text{МПа})$	Расхождения между теоретич. и эксперимент. данными %	Приведенный модуль упругости заполнителя на сдвиг эксперимент., $E_{\text{хоз3}}(\text{МПа})$	Приведенный модуль упругости заполнителя на сдвиг теоретич., $E_{\text{хоз3}}(\text{МПа})$	Расхождения между теоретич. и эксперимент. данными %
	ах (см <sup>2</sup> )	с (см)	t (см)						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Алюминиевая фольга									
1	2x2	4	$1.10^{-2}$	0.145	0.163	10.4	479.3	563.8	15
2	3x3	5	$1.10^{-2}$	0.060	0.061	2.1	370.9	421.2	12
3	4x4	6	$1.10^{-2}$	0.0575	0.058	1.2	348.6	417.5	16.5
Д-16									
1	2x2	4	$1.10^{-2}$	0.222	0.261	14.7	554.7	676.5	18
2	3x3	5	$1.10^{-2}$	0.112	0.106	5.4	419.5	505.4	17
3	4x4	6	$1.10^{-2}$	0.102	0.101	1.1	440.9	500.9	12

### при сжатии



### при сдвиге

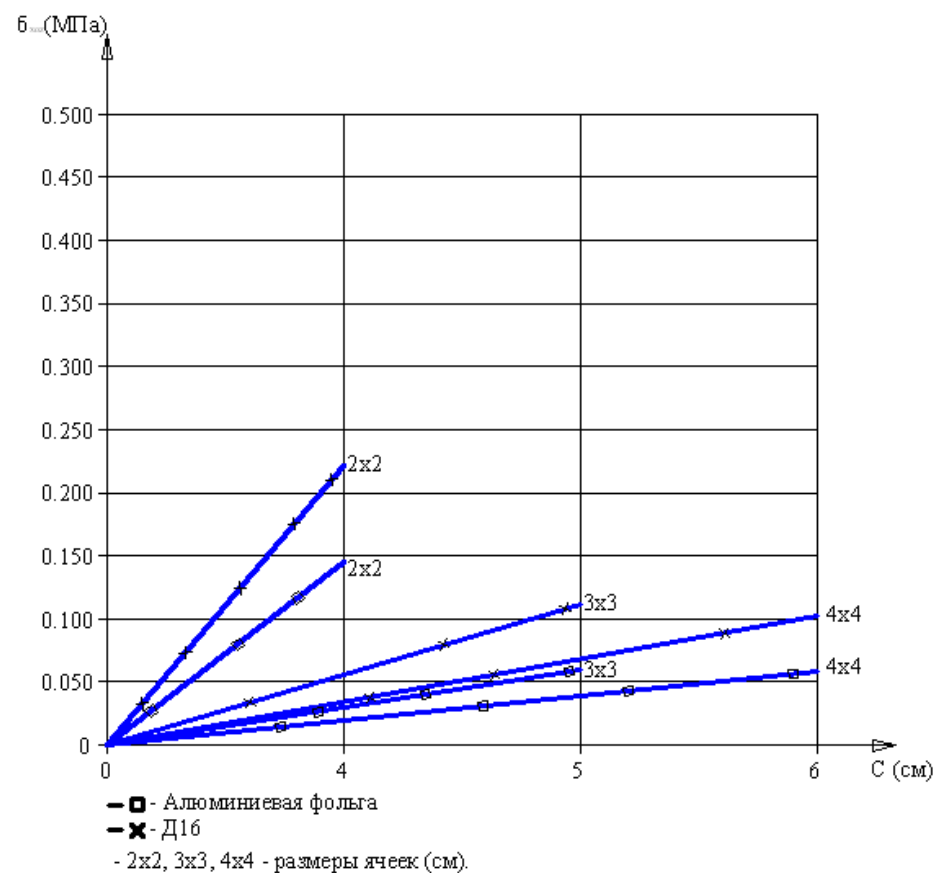


Рисунок 5 - Графики экспериментальных исследований



**Библиографический список:**

1. Ендогур А.И., Вайнберг М.В., Иерусалимский К.М. Сотовые конструкции. М.: Машиностроение, 1986, 200 с.
2. Благов В.А., Калмычков А.Н., Кобелев В.Н., Прохоров Б.Ф. Лёгкие судовые конструкции из пластмасс. Л., «Судостроение», 1969, 264 с.