

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАПИЛЛЯРНОГО РАДИУСА ЯЧЕЕК СЕТОК С ДЕФОРМИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ ПЛЕТЕНИЯ

Н.О. Позднышев

*Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» и М.К. Янгеля»,  
ул. Криворожская, 3, г. Днепр, 49008, Украина, e-mail: n.pozdnyshev@gmail.com*

Експериментально досліджено зміни капілярного радіуса вічок металічних тканих сіток залежно від ступеня деформованості структури їх плетіння. Приведено значення вимірювань капілярного радіуса вічок залежно від кута переплетіння волокон сіток. Надано рекомендації щодо можливості використання деформованих сіток у пристроях забезпечення суцільності компонентів палива баків космічних літальних апаратів.

Ключові слова: сітчастий фазорозділювач, структура плетення сітки, поверхня розділу фаз, паливний бак, утримуюча здатність, капілярний радіус.

The article is devoted to the experimental study of the change in the capillary radius of cells of metal woven nets, depending on the degree of deformation of the structure of their weaving. The values of the measurements of the capillary radius of the cells are given as a function of the interlacing angle of the fibers of the nets. Recommendations are given on the possibility of using deformed nets in devices to ensure the continuity of the components of the fuel tanks of spacecraft.

Keywords: mesh phase separator, mesh plaiting structure, interfacial surface, fuel tank, holding capacity, capillary radius.

Експериментально исследованы изменения капиллярного радиуса ячеек металлических тканых сеток в зависимости от степени деформированности структуры их плетения. Приведены значения замеров капиллярного радиуса ячеек в зависимости от угла переплетения волокон сеток. Даны рекомендации о возможности применения деформированных сеток в устройствах обеспечения сплошности компонентов топлива баков космических летательных аппаратов.

Ключевые слова: сетчатый фазоразделитель, структура плетения сетки, поверхность разделения фаз, топливный бак, удерживающая способность, капиллярный радиус.

**Введение.** В ряде случаев использования космической техники необходимо проведение запуска жидкостного ракетного двигателя в условиях практической невесомости. Для обеспечения такого запуска необходимо, чтоб в баке был определенный запас топлива в районе заборного устройства без газовых включений, которые могли бы привести к срыву работы двигателя [2]. Одним из вариантов решения этой задачи является использование капиллярных систем обеспечения сплошности компонентов топлива. Одним из основных элементов таких систем являются проницаемые экраны на основе металлических сеток с квадратными ячейками микронных размеров [3].

Данные экраны позволяют удерживать часть топлива в заданном ограниченном пространстве за счет сил поверхностного натяжения. Сетка такого экрана создает границу раздела фаз. Экран проектируется исходя из условия, что

перепад давления на сетке не превышает капиллярного давления, создаваемого сеткой. Чем меньше капиллярный радиус ячейки сетки, тем выше значение капиллярной удерживающей способности сетки и тем менее вероятно проникновение газа наддува в расходную магистраль двигательной установки.

Для увеличения капиллярной удерживающей способности сеток, их прочностных свойств и уменьшения их стоимости возможно использование метода деформирования структуры плетения путем изменения угла переплетения их волокон. В этом случае меняется форма ячеек и их геометрические характеристики: угол переплетения волокон, величина живого сечения. Данный способ рассмотрен и аналитически обоснован в работах [4; 5]. Для подтверждения аналитических методик расчета параметров деформированных сеток необходимо проведение экспериментального исследования.

**Постановка задачи.** Задача работы – экспериментальное определение капиллярного радиуса ячеек деформированных металлических сеток с квадратными ячейками в зависимости от угла переплетения их волокон. Капиллярный радиус ячеек сетки является ключевой величиной для расчета капиллярной удерживающей способности сетки при проектировании капиллярных систем обеспечения сплошности компонентов топлива.

**Объект исследования.** Металлическая тканая сетка имеет сложную пространственную структуру (рис. 1).

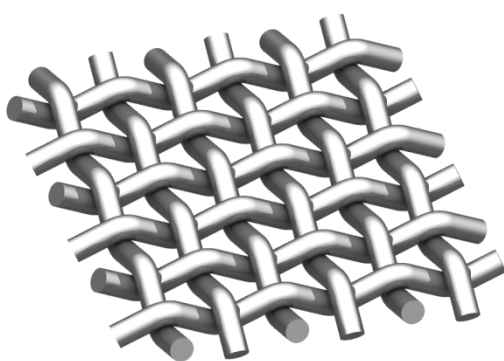


Рис. 1. Структура сетки полотняного плетения

Характерные размеры сеток определяются при ее проекции на плоскость.

На рис. 2 приведена проекция на плоскость сетки с деформированной структурой плетения. Как видно из рисунка, при деформации все характерные размеры ячеек сетки изменяются в зависимости от угла переплетения волокон.

В табл. 1 приведены типы и характеристики исходных металлических сеток полотняного плетения с квадратными

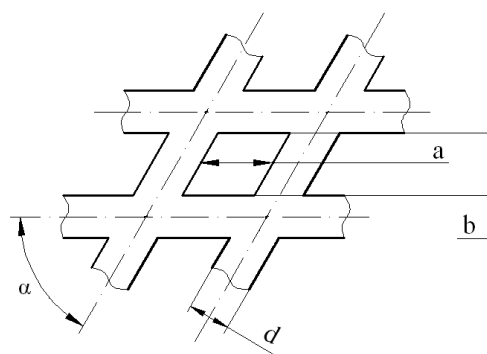


Рис. 2. Проекция структуры ячейки сетки на плоскость:

$a$  – ширина ячейки свету;  $b$  – высота ячейки в свету;  $d$  – диаметр проволоки;  $\alpha$  – угол переплетения волокон

ми ячейками, которые были использованы в качестве образцов для проведения экспериментального исследования [1].

Для создания каждого экспериментального образца, исходная сетка деформировалась на специальном устройстве и фиксировалась между двумя патрубками с помощью полимерного клея. Таким образом было изготовлено суммарно 39 экспериментальных образцов.

Использовалась модельная жидкость Бутанол-1, имеющая следующие характеристики:

- плотность  $\rho = 809 \text{ кг/м}^3$ ;
- коэффициент поверхностного натяжения  $\sigma = 0,0246 \text{ Н/м}$ .
- краевой угол контакта с материалом сеток  $\theta = 0$ .

**Методика проведения эксперимента.** Величина капиллярной удерживающей способности сетки определяется по формуле Лапласа в зависимости от формы поверхности раздела фаз. Последняя зависит от геометрических размеров ячейки.

Таблица 1

Типы используемых металлических сеток

№ п/п	Размер ячейки в свету, $a_{\text{я}}$ , мкм	Диаметр проволоки, $d_{\text{п}}$ , мкм	Материал	
1	80	80	нержавеющая сталь	12X18H10T
2	63	50	нержавеющая сталь	12X18H10T
3	63	40	латунь	Л80
4	50	40	латунь	Л80
5	40	30	нержавеющая сталь	12X18H10T
6	32	28	нержавеющая сталь	12X18H10T

В случае круглого капилляра формула имеет вид:

$$p_k = \frac{2\sigma}{r_k} \cos(\theta),$$

где  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения;

$r_k$  – радиус капилляра;

$\theta$  – краевой угол контакта жидкости и материала капилляра.

Так как форма деформированной ячейки геометрически сложна, то  $r_k$  определяется экспериментальным путем. Для этого производится измерение капиллярной удерживающей способности сетки при ее контакте с модельной

жидкостью с известными характеристиками. В этом случае величина  $r_k$ , с учетом малости краевого угла контакта жидкости с материалом сеток, определяется по зависимости [3]:

$$r_k = \frac{2\sigma}{p_k}$$

**Стендовая установка.** Для проведения экспериментального исследования был выбран пузырьковый метод определения капиллярной удерживающей способности сетки [3]. Схема стендовой установки приведена на рис. 3.

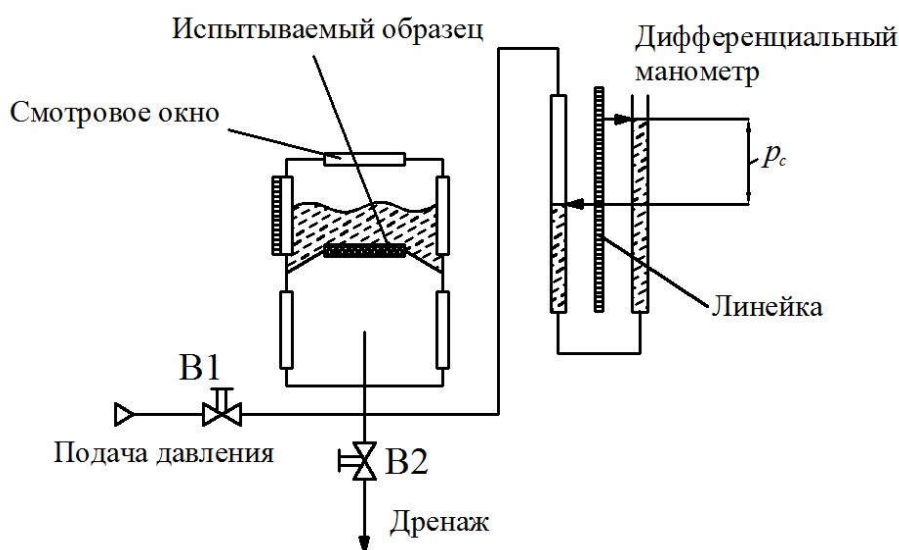


Рис. 3. Схема стендовой установки

**Проведение испытаний.** Испытание каждого образца производилось в следующем порядке:

- испытываемый образец герметично фиксируется на стендовой установке;
- поверхность сетки смачивается модельной жидкостью с помощью пипетки;
- открывается клапан В1 и достигается небольшой перепад давления на сетке;
- сверху на поверхность сетки наливается модельная жидкость до уровня 4 мм;
- открывается клапан В1, подается давление наддува и визуально фиксируется момент начала прорыва газа из-под сетки;
- в момент массового прорыва газа фиксируется уровень давления по диф-

ференциальному манометру;

- закрывается клапан В1;
- производится дренаж газа и жидкости путем открытия клапана В2 до завершения дренажа;
- испытываемый образец снимается со стендовой установки.
- производится пересчет снятого значения капиллярной удерживающей способности на величину капиллярного радиуса ячейки сетки.

**Результаты испытаний.** Результаты экспериментального определения зависимости капиллярного радиуса ячеек деформированных металлических сеток с квадратными ячейками в зависимости от угла переплетения их волокон приведены на рис. 4.

**Анализ полученных результатов.** Результаты измерений свидетельствуют об

уменьшении капиллярного радиуса ячеек при деформации структуры плетения всех типов сеток. При этом сетки, выполненные из латуни, деформируются в большей степени, чем выполненные из стали. Минимальные углы деформации достигаются именно на латунных сетках, минимальный из которых соответствует

сетке № 3 и равен  $45^\circ$ . При этом максимальное уменьшение капиллярного радиуса соответствует сетке № 4, что в 1,9 раз меньше по отношению к недеформированной сетке (по точкам с максимальным разбросом).

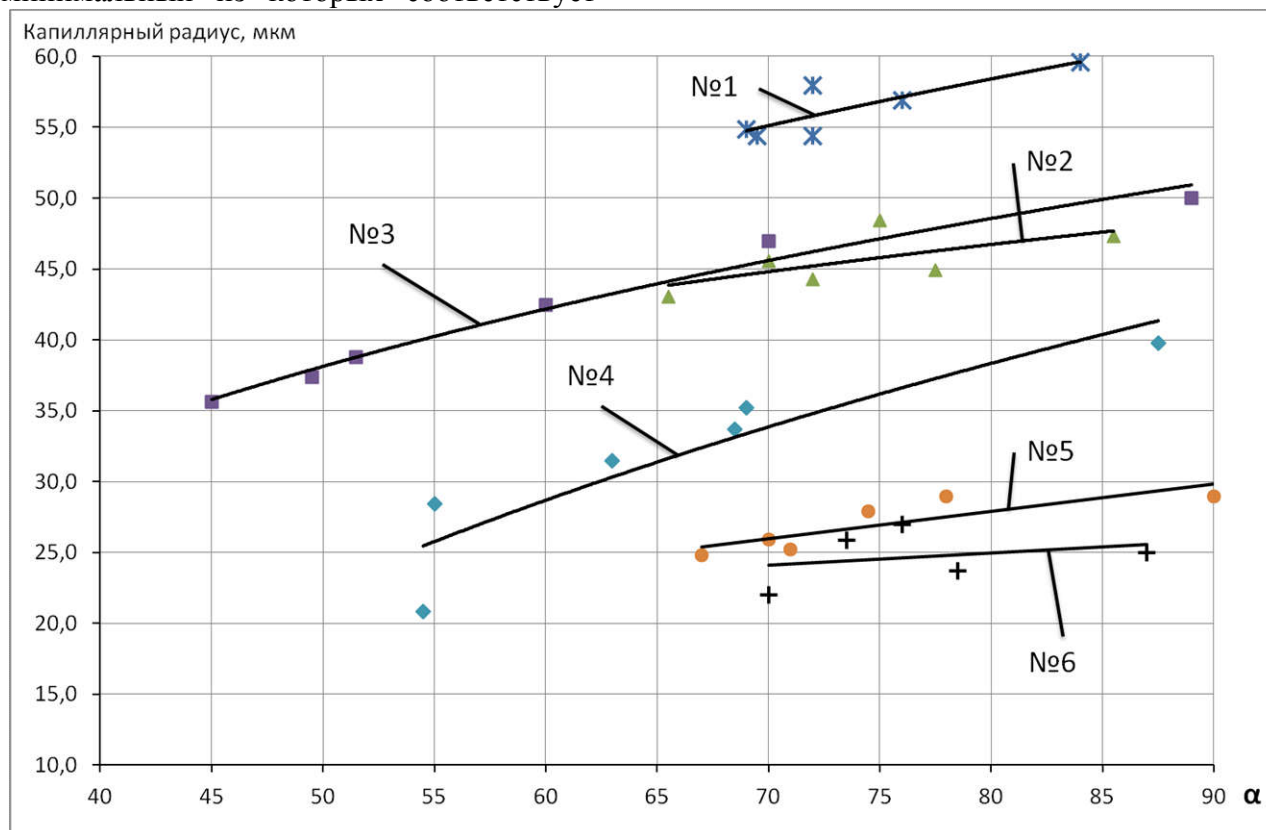


Рис. 4. Зависимость капиллярного радиуса  $r_k$  ячеек сеток в зависимости от угла переплетения их волокон (с указанием номеров сеток)

**Выводы.** Получены экспериментальные зависимости значений капиллярного радиуса ячеек деформированных металлических сеток с квадратными ячейками от угла переплетения их волокон.

Использовать способ деформирования структуры плетения сеток для увеличения капиллярной удерживающей способности сетчатых фазоразделителей возможно практически.

При монтаже сеток в системы обеспечения сплошности компонентов топлива возможно допускать деформацию структуры плетения волокон сетки, это не приводит к ухудшению характеристик системы по критерию капиллярной удерживающей способности.

В дальнейшем требуется проведение экспериментальных исследований, направленных на определение степени увеличения коэффициента гидравлического сопротивления сеток с деформированной структурой плетения. Требуется разработка устройств для деформации сеток больших размеров. А также необходимо проведение анализа расчетных методик по определению капиллярного радиуса ячеек сеток с деформированной структурой плетения и их корректировка по результатам эксперимента.

#### Библиографические ссылки

1. ГОСТ 6613–86. Государственный стандарт. Сетки проволоочные тканые с квадратными ячейками. Москва : Изд-во стандартов, 1986. 11 с.

2. Двигательные установки ракет на жидком топливе / под ред. Элиот Ринг; пер. с англ. Ю.Б. Воронова, В.П. Оводова, Б.И. Трифонцева. Москва : Мир, 1966. 404 с.

3. Капиллярные системы отбора жидкости из баков космических летательных аппаратов / В.М. Багров, А.В. Курпатенков, В.М. Поляев и др.; под ред. В.М. Поляева. Москва : УНПЦ «Энергомаш», 1997. 328 с.

4. Позднышев Н.О. Влияние деформированности структуры плетения сеток на проектные параметры сетчатых фазоразделителей. *Вісник*

*Дніпропетровського університету. Серія ракетно-космічна техніка: Зб. наук. праць. Вип. 16. Т. 2. 2012. С. 227–236.*

5. Позднышев Н.О. Гидродинамические характеристики сеток с измененной структурой плетения. *Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки: зб. наук. праць. / наук. ред. д-р техн. наук С.О. Давидов. Днепр : Пороги, 2013. Т. 15. С. 75–80*

*Надійшла до редколегії 01.06.2018 р.*

УДК 539.4: 621.81

## **ИСПЫТАНИЕ СОПЛОВОЙ МЕМБРАНЫ МИКРОГАБАРИТНЫХ РДТТ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ**

**Ю.С. Прокофьев, В.В. Сатокин, Ю.Н. Бабей**

*Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля»  
ул. Криворожская, 3, г. Днепр, 49000, Украина, e-mail: ofsale@gmail.com*

Розглянуто задачу проведення натурних випробувань соплової мембрани мікрогабаритного РДТТ, аналізу результатів і проведення числового моделювання експлуатаційного стану віртуальної копії реальної мембрани.

**Ключові слова:** мембрана, випробування, експлуатаційний стан, міцність, РДТТ.

The problem conducting field tests nozzle membrane of micro size RESF, analysis results and carrying out numerical modeling of operational state virtual copy real membrane is considered.

**Keywords:** membrane, experiment, operating state, durability, RESF.

Рассмотрена задача по проведению натурных испытаний сопловой мембраны микрогабаритного РДТТ, анализа их результатов и проведения численного моделирования эксплуатационного состояния виртуальной копии реальной мембраны.

**Ключевые слова:** мембрана, испытания, эксплуатационное состояние, прочность, РДТТ.

**Введение.** Сопловая мембрана с проточкой ракетного двигателя на твердом топливе (РДТТ) предназначена для герметичности РДТТ и создания уровня внутрикамерного давления для начала его работы.

В статье представлены данные проведенного сравнения результатов испытаний сопловой мембраны с проточкой и результатов виртуального моделирования в комплексе ANSYS мембраны по конструкторской документации и виртуальной копии реальной мембраны.

**Цель исследований.** Государственным предприятием «Конструктор-  
© Прокофьев Ю.С., Сатокин В.В., Бабей Ю.Н., 2018

ское бюро «Южное» была поставлена задача проведения пневматических разрушающих испытаний (ПРИ) сопловой мембраны микрогабаритных РДТТ внутренним давлением до разрушения. При испытаниях возникли вопросы об уровне момента затяжки узла крепления мембраны, характере приклеивания теплозащитного покрытия к поверхности мембраны и их влиянии на характер разрушения мембраны: выщелкивание вместо вылета.

Фактическая конструкция разрушенной сопловой мембраны с соплом в корпусе РДТТ приведена на рис. 1.