

УДК 629.7.002.72:621.454.2

Н. О. Позднышев

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕТОК С ИЗМЕНЕННОЙ СТРУКТУРОЙ ПЛЕТЕНИЯ

У статті наведені результати чисельних досліджень гідродинамічних характеристик сіток у залежності від кута переплетення волокон, таких як статична утримуюча здатність, коефіцієнт гідравлічного опору.

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

В статье приведены результаты численных исследований гидродинамических характеристик сеток в зависимости от угла переплетения волокон, таких как статическая удерживающая способность, коэффициент гидравлического сопротивления.

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

This paper gives the results of numerical calculations the hydrodynamic characteristics of the screens depending on the values of the angles of interweaving such as the capillary holding capacity and the coefficient of hydraulic resistance.

Keywords: mesh phase separator, mesh plaiting structure, interfacial surface, fuel tank, holding capacity, differential pressure.

Вступлення. Основным элементом сетчатых систем обеспечения сплошности (СОС) компонентов топлива летательных аппаратов являются металлические сетки полотняного плетения с размерами ячеек в свету менее 100 мкм. В конструкции СОС требуются сетки с наибольшим значением капиллярной удерживающей способности (КУС), а значит с наименьшим возможным размером ячеек. Особенностью промышленного изготовления сеток является то, что чем меньше размер ячеек, тем меньше диаметр проволок и прочность сетки. Это может накладывать ограничения как на конструкцию СОС, так и на параметры траектории летательного аппарата.

Сетки с размером ячеек в свету порядка 20 мкм имеют высокие значения КУС, однако, их прочность крайне низкая. Они могут повреждаться как при технологических операциях монтажа, так и в процессе штатной работы летательного аппарата в динамических условиях. Кроме того, с уменьшением геометрических размеров элементов сетки значительно возрастает их цена [6].

Для частичного решения этих проблем, повышения прочностных свойств и параметра КУС, можно воспользоваться методом изменения структуры плетения сеток путем изменения угла переплетения их волокон [5].

Постановка задачи. Задачами исследования были: определение границ применимости методики изменения структуры плетения сеток в СОС летательных аппаратов, определение углов переплетения волокон сеток для достижения характеристик, аналогичных более мелким сеткам, исследования влияния повышенного коэффициента гидравлического сопротивления (КГС) на реальные потери давления.

Математическая модель. При изменении угла переплетения сетки изменяются геометрические характеристики ячеек, при этом эффективный капиллярный радиус уменьшается, а значение КУС растет. Однако при этом растет и значение КГС, что вызывает рост потерь давления. Для определения гидродинамических характеристик сеток с измененной структурой плетения был использован расчетный численный метод [5].

Математическая модель сетки является прямой проекцией физической сетки на плоскость – плоская фигура, состоящая из участков сплошного материала (лент), которые образуют единую сплошную фигуру в виде плоской сетки (рис.1). Эта структура не деформируется под действием сил, действующих на нее.

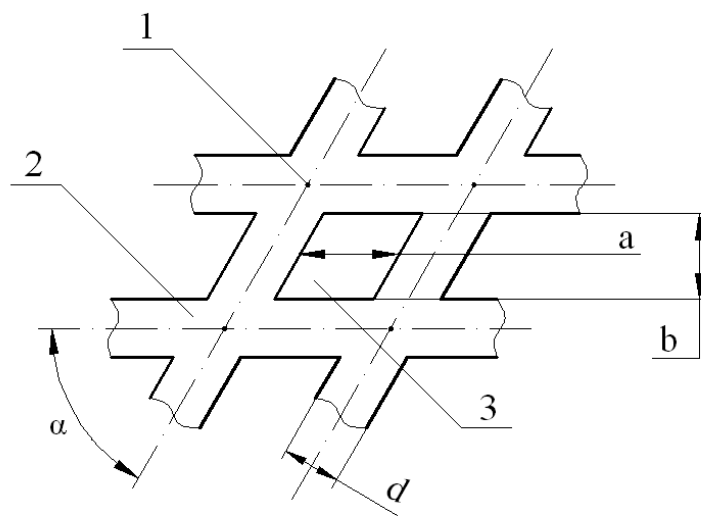


Рис. 1. Математическая модель структуры ячейки сетки:

1 – узловая точка; 2 – ленты сетки, состоят из сплошного материала; 3 – отверстие ячейки сетки, пустое пространство; α – угол переплетения волокон сетки; a – длина ячейки; b – ширина ячейки; d – ширина ленты

Взаимопересекающиеся ленты 2 закреплены относительно друг друга в узловых точках 1 так, что они могут вращаться относительно друг друга в одной плоскости. Таким образом, структура сетки может свободно деформироваться относительно узловых точек. Узловые точки привязаны к центрам пересечения лент, а отрезки, проведенные через эти точки по осевым линиям лент,

всегда сохраняют свою длину. Угол между взаимопересекающимися отрезками и является углом переплетения волокон сетки α .

Метод расчета КУС заключается в моделировании изменения кривизны поверхности разделения фаз внутри отверстия ячейки сетки под действием избыточного давления. Затем, с использованием формулы Лапласа, находится максимум капиллярного давления. Для определения КГС сеток использовались расчетные и экспериментальные зависимости для сеток с квадратными ячейками [4].

Исходные данные для проведения численных расчетов. При выполнении численных расчетов использовались тканые металлические сетки с квадратными ячейками полотняного плетения, основные геометрические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры СЭ [2]

№ п/п	Номер сетки	Номинальный размер ячейки в свету a_c^{nom} , мкм	Диаметр проволоки номинальный $d_{\text{п}}^{\text{nom}}$, мкм
1	002	20	20
2	0032	32	28
3	004	40	30
4	008	80	55

В расчетах как рабочая жидкость принималась вода дистиллированная при $t=20$ °С: плотность $\rho = 1000$ кг/м³, кинематическая вязкость $\nu = 1 \cdot 10^{-6}$ м²/с, поверхностное натяжение $\sigma = 72,5 \cdot 10^{-3}$ Н/м [1].

Результаты и анализ численных расчетов. Результаты численных расчетов КУС сеток в зависимости от угла α приведены на рис. 2. Для сравнения на графике проведена линия 2, которая соответствует КУС фильтровой сетки, у которой волокна расположены так, что у нее нет живого сечения. Из этого следует, что при изменении угла α , у сеток полотняного плетения КУС не может быть выше данного предела 2. Также при углах α порядка 30° у физических сеток наблюдается значительная деформация и волнистость поверхности сетки. В рамках данной математической модели не учитывалось то, что сетка имеет пространственную структуру, учет этого требует значительного усложнения математической модели.

Из рис. 2 видно, что уже при углах α меньше 60° происходит значительный рост значения КУС и этот рост будет продолжаться вплоть до полного перекрытия отверстия ячейки сетки, при этом КУС будет соответствовать максимуму – КУС фильтровой сетки 2.

Значения КГС в зависимости от угла α приведены на рис. 3. Значения КГС начинают резко возрастать при углах α меньше 45°, это может приводить к росту потерь давления.

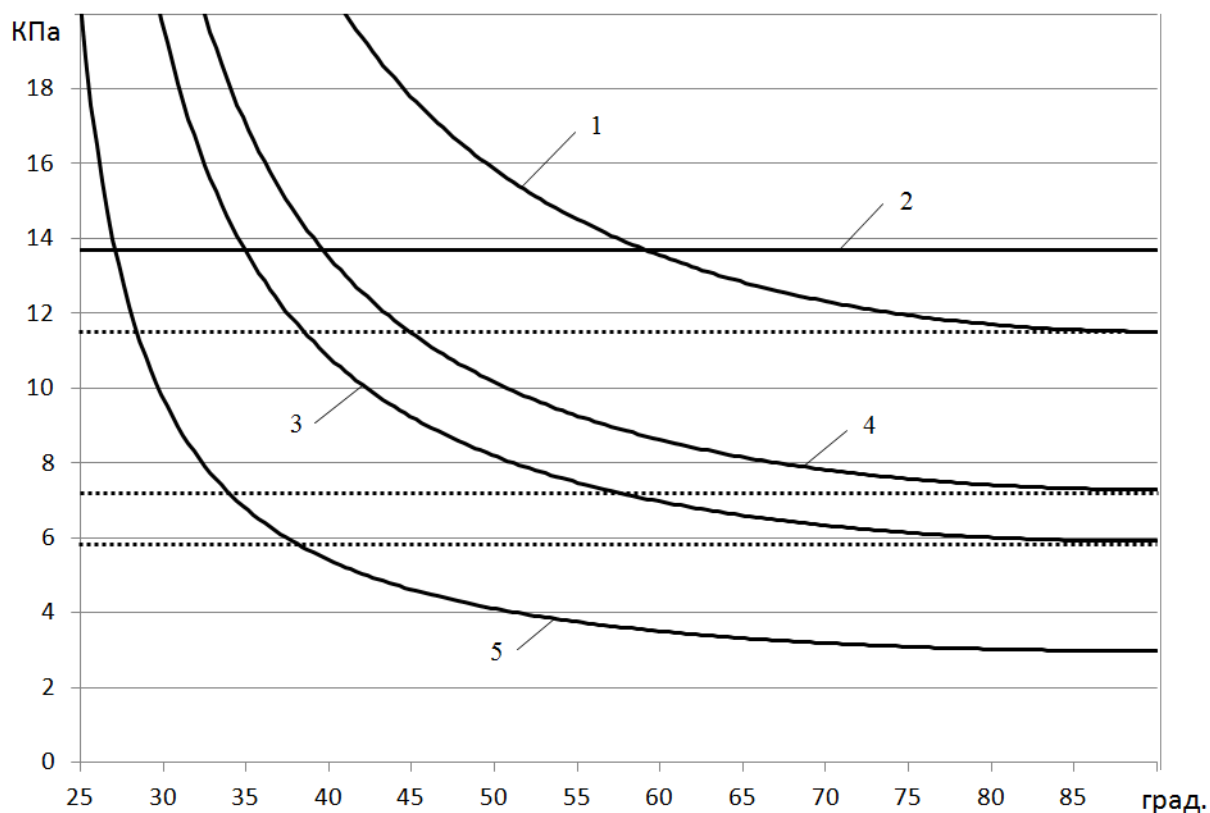


Рис. 2. Зависимости КУС сеток от угла α :

1 – КУС сетки № 002; 2 – КУС фильтровой сетки; 3 – КУС сетки № 0032;
4 – КУС сетки № 004; 5 – КУС сетки № 008

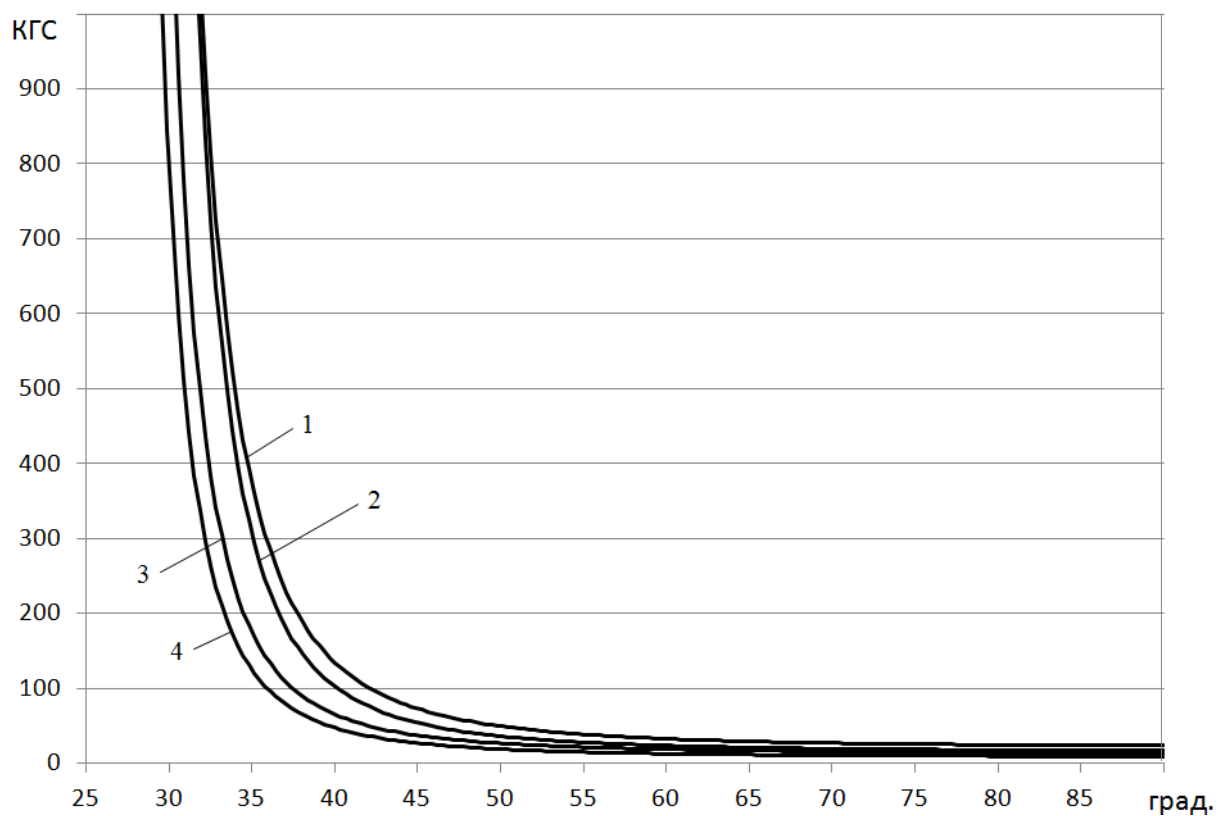


Рис. 3. Зависимости КГС сеток от угла α :

1 – КГС сетки № 002; 2 – КГС сетки № 0032; 3 – КГС сетки № 004; 4 – КГС сетки № 008

Для определения влияния роста КГС был проведен расчет динамической КУС для сетки № 008 (рис. 4). Динамическая КУС определялась как разница статической КУС и потерь давления, которые возникают при течении жидкости через сетку со средними скоростями, которые соответствуют реальным условиям эксплуатации СОС. Как видно из рис. 4, заметное снижение динамической КУС начинается при углах α менее 40° , что практически соответствует крайнему случаю применимости математической модели и началу деформации поверхности сетки. Из этого следует, что в реальных условиях эксплуатации рост КГС практически не влияет на работоспособность СОС. Аналогичная картина наблюдается и при расчетах других типов сеток.

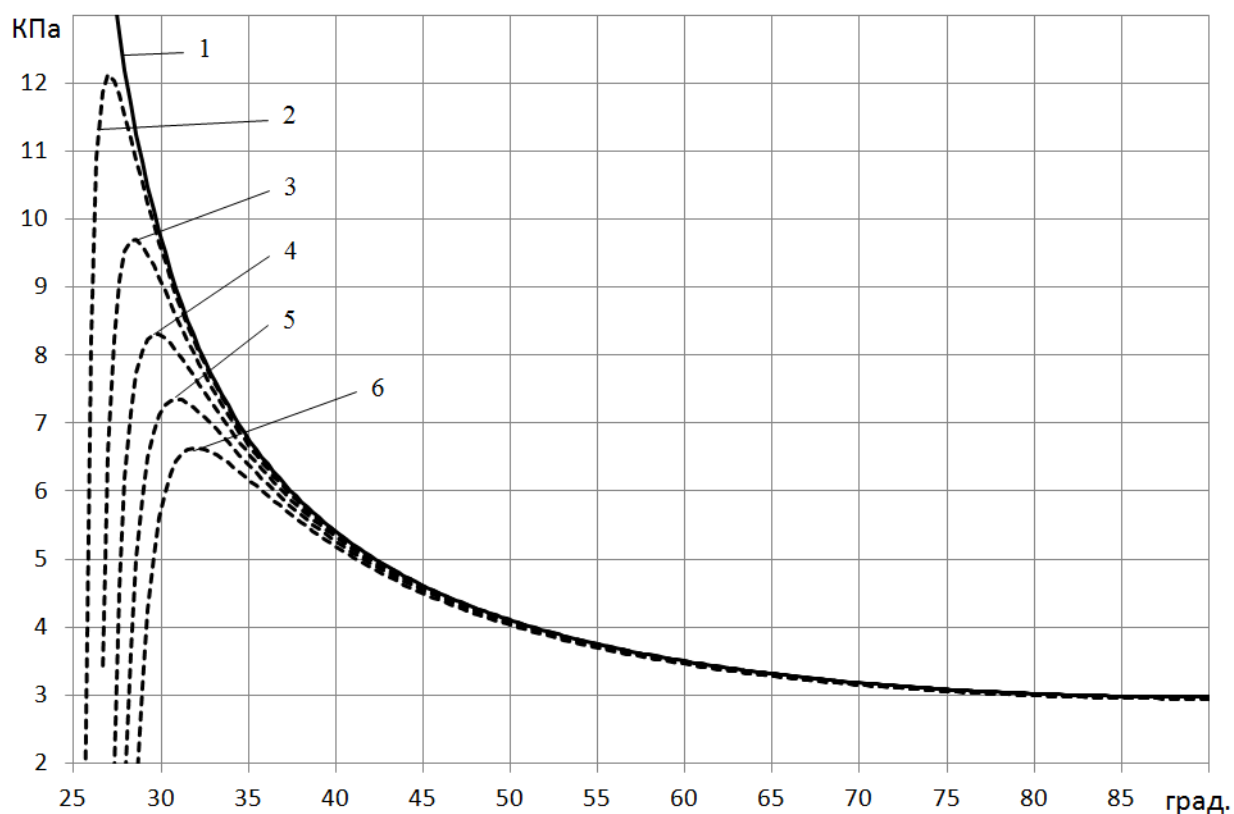


Рис. 4. Зависимость динамической КУС сетки № 008 от угла α :

- 1 — значение статической КУС; 2 — динамическая КУС при $v_{ж}=0,02$ м/с;
 3 — динамическая КУС при $v_{ж}=0,04$ м/с; 4 — динамическая КУС при $v_{ж}=0,06$ м/с;
 5 — динамическая КУС при $v_{ж}=0,08$ м/с; 6 — динамическая КУС при $v_{ж}=0,1$ м/с

В таблице 2 приведены расчетные значения углов α , при которых параметры КУС сеток с измененной структурой плетения с более крупными ячейками соответствуют КУС базовых недеформированных сеток с более мелкими ячейками, а также расчетные значения КГС относительно базовых сеток.

Выводы. Анализ результатов численного расчета показал, что возможно значительно увеличить КУС сеток полотняного плетения с помощью изменения структуры их плетения, однако при этом необходимо учитывать и рост потерь давления. При значениях скоростей протекания жидкости через СОС, наиболее распространенных в условиях реальной эксплуатации СОС космических лета-

Таблица 2

Расчетные углы переплетения волокон сеток с измененной структурой плетения, при которых достигаются параметры КУС базовых сеток

Тип базовой сетки	Тип сетки с измененной структурой плетения	Угол переплетения волокон сетки α , град.	КГС измененной сетки относительно КГС базовой
Фильтровая	№ 002	59°	
	№ 0032	39°	
	№ 004	35°	
	№ 008	27°	
№ 002	№ 0032	44°	$\xi = 2,4 \cdot \xi_{002}$
	№ 004	38°	$\xi = 3,5 \cdot \xi_{002}$
	№ 008	28°	$\xi = 120 \cdot \xi_{002}$
№ 0032	№ 004	57°	$\xi = 1,2 \cdot \xi_{0032}$
	№ 008	33°	$\xi = 11 \cdot \xi_{0032}$
№ 004	№ 008	37°	$\xi = 0,73 \cdot \xi_{004}$

тельных аппаратов, параметр КГС дает незначительный вклад в уменьшение динамической КУС.

Для подтверждения результатов численных расчетов необходимы экспериментальные исследования образцов сеток и определение зависимостей значений КУС и КГС при различных значениях углов α .

Библиографические ссылки

1. Варгафтик Б. В. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Б. В. Варгафтик. – М.: Физматгиз, 1963. – 708 с.
2. Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками: ГОСТ 6613–86. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 11 с.
3. Джейкок М. Химия поверхностей раздела фаз / М. Джейкок, Дж. Парфит; *пер. с англ. В.Ю.Гаврилова*. – М.: Мир, 1989. – 240 с.
4. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1975. – 328 с.
5. Позднышев Н. О. Влияние деформированности структуры плетения сеток на проектные параметры сетчатых фазоразделителей / Н. О. Позднышев // Вісник Дніпропетровського університету. Сер. Ракетно-космічна техніка: *зб. науков. праць*. – Д.: ДНУ, 2012. – Вип. 16. – Том 2. – С. 67–73.
6. Харьковский завод металлических сеток «ТЕТРА» [*электронный ресурс*] URL: <http://www.setki.com.ua/shop-setka-tkanaya-nerzhaveyushaya.html> (Дата обращения: 11.05.2013).

Надійшла до редколегії 29.03.2013