
СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СУДОВОЖДЕНИЯ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ

УДК 621.431.74–729.3

С.П. Бойко

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
690003, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ТОНКОСТИ ОТСЕВА ТКАНЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ СЕТОК СУДОВЫХ САМОРЕГЕНЕРИРУЮЩИХСЯ ОЧИСТИТЕЛЕЙ ТОПЛИВА И МАСЛА

Приведена упрощенная методика расчета тонкости отсева тканых фильтровальных сеток полотняного переплетения. Проведено сравнение результатов расчета этого показателя по усложненной и разработанной методике. Дан анализ показателей эффективности различных сеток, используемых в саморегенерирующихся фильтрах топлива и масла.

Ключевые слова: самоочищающийся фильтр, регенерация фильтра, очистка топлива и масла, фильтровальные сетки.

S.P. Boyko

METHODS AND RESULTS OF CALCULATION TONKOSTI DROPOUT NONWOVEN FILTER GRIDS SHIP CLEANERS SELF-RECOVERING FUEL AND OIL

A simplified method of calculation of thickness and completeness of screening woven filter's mesh plain weaves is presented. Made a comparison of the results of these indicators through the new complicated method. The analysis of effectiveness of various nets used in the self-recovering of fuel and oil filters is given.

Key words: self-cleaning filter, regeneration of the filter, cleaning of fuel and oil, filter mesh.

В последнее время на судах для очистки горюче-смазочных материалов большое распространение получили саморегенерирующиеся фильтры (СРФ) [6]. Эти очистители с высокой автономностью работы способны функционировать в топливных и смазочных системах ДВС в течение 2–5 тыс. ч без вскрытия для проведения профилактических процедур, замены поврежденных фильтрующих элементов (ФЭ) и их химической чистки [1].

Необходимость автоматизации процесса регенерации ФЭ в СРФ выдвинуло более жесткие требования к фильтровальным материалам (ФМ) этих очистителей. При высокой пропускной способности и эффективности отсева они должны хорошо регенерироваться, не забиваться отложениями на тяжелых режимах функционирования, иметь длительный ресурс работы между химическими чистками ФЭ. Таким фильтровальным материалом все чаще становятся тканые фильтровальные сетки (ТФС) полотняного переплетения [3, 4].

Применение этих материалов в саморегенерирующихся фильтрах вызвано их способностью успешно работать при жестких режимах фильтрования. Они обладают высокими прочностными характеристиками и хорошей регенерируемостью, что весьма важно для эффективной промывки тканых фильтровальных материалов (ТФМ) обратным потоком фильтруемой жидкости. При этом промывной поток движется через поровую структуру ТФС при смывке отложений со скоростью в 2–30 раз более высокой, чем при фильтровании [6].

Геометрия ТФС оптимизирована для достижения высокой регенерируемости при тонкости и полноте отсева, требуемой для эффективной очистки топлив и моторных масел (ММ) в судовых дизелях [5]. Разработка новых ТФС полотняного переплетения с расположением проволок утка вплотную (рис. 1) и регулированием параметров геометрии сеток выбором оптимальных диаметров проволок утка и основы, шага основы дала возможность получить ФМ с высокими функциональными свойствами [3, 5].

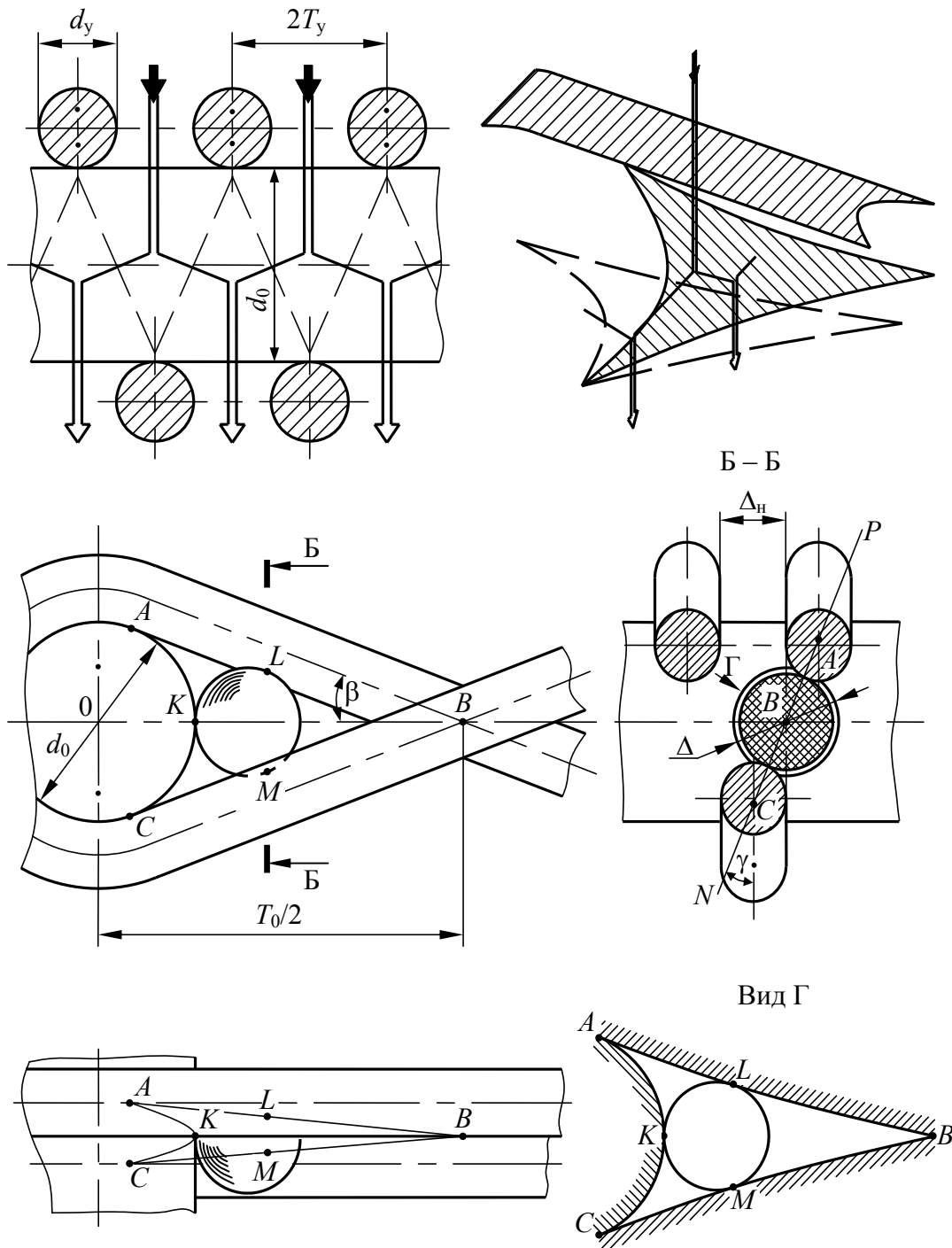


Рис. 1. Геометрия сеток полотняного переплетения
Fig. 1. Geometry of plain weave mesh

Существующие расчетные методы оценки очистительной способности (тонкости отсева и полноты отсева) ТФС очень трудоемки и требуют численных методов расчета [2]. В статье изложена упрощенная методика оценки разделительной способности сеток полотняного переплетения. Реализуемые в работе [5] подходы к идентификации самого узкого сечения ТФС в форме косоугольного треугольника трансформированы на нахождение тонкости отсева через параметры прямолинейного треугольника. Для этой цели предлагается найти поправки к криволинейному треугольнику для преобразования его в объект, имеющий с ним одинаковое проходное сечение, идентифицируемое вписанной окружностью одного и того же диаметра.

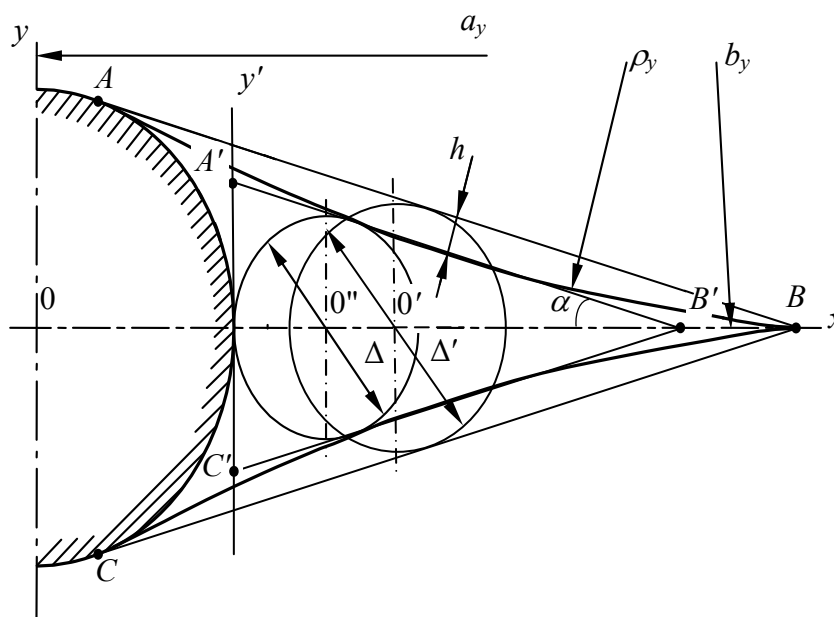


Рис. 2. Схема идентификации функциональных показателей сеток
Fig. 2. Driving identify functional indicators plain

Тонкость отсева ТФС, которую можно назвать условной, определяется по каналам в форме треугольника ABC с прямолинейными сторонами (рис. 2). Она соответствует величине

$$\Delta' = d_0 \left[\frac{\cos \beta}{\cos \gamma} - (1 - \sin \beta) \operatorname{tg} \alpha \right] \operatorname{tg} \left(\frac{90 - \alpha}{2} \right). \quad (1)$$

Для более точного вычисления показателя тонкости отсева использовали поправку

$$\delta \Delta = 2h \frac{\operatorname{tg} \left(\frac{90 - \alpha}{2} \right)}{\cos \alpha}.$$

В итоге тонкость отсева внутреннего фильтровального канала ТФС в самом узком его сечении в форме криволинейного треугольника ABC составляет

$$\Delta = \Delta' - \delta \Delta = d_0 \left[\frac{\cos \beta}{\cos \gamma} - (1 - \sin \beta) \operatorname{tg} \alpha \right] \operatorname{tg} \left(\frac{90 - \alpha}{2} \right) - 2h \frac{\operatorname{tg} \left(\frac{90 - \alpha}{2} \right)}{\cos \alpha}. \quad (2)$$

Расчет угла γ осуществляется по координатам точек касания шара проволок утка и основы с использованием половинного угла β в пересечениях нитей (проволок) утка:

$$\gamma = \operatorname{arctg}\left(\frac{d_y}{d_o \cos \beta}\right), \quad \beta = \arcsin\left(\frac{d_o + d_y}{T_o}\right),$$

где d_o, d_y, T_o – диаметр нитей основы и утка, шаг основы, мкм.

Выделенный фильтровальный участок наглядно представлен на рис. 1 [2]. Внутренний задерживающий канал идентифицируется поперечным сечением нитей основы под углом γ плоскостью PBN . Преобразование криволинейного треугольника ABC в равноценный ему по тонкости отсева равнобедренный $\Delta A'B'C'$ с прямолинейными сторонами осуществляется несколькими приемами (см. рис. 2).

Вписанный в криволинейный ΔABC равнобедренный треугольник $A'B'C'$ имеет в вершине B' угол 2α , половинная величина которого определяется на основе геометрии криволинейной внутренней поры:

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left[\frac{\cos \beta}{\cos \gamma \left(\frac{T_o}{d_o} - \sin \beta\right)}\right].$$

Самый простейший метод определения абсолютной тонкости отсева состоит в учете выпуклости сторон криволинейного треугольника, которая сужает условный просвет прямолинейного ΔABC . Вписанная в него окружность определяет условную тонкость отсева Δ' без учета кривизны сторон треугольника. Поправку h на выпуклость линии AB находим по известному соотношению [2] между диаметром $2\rho_y$ окружности (дуги $\overset{\cup}{AB}$) и полухордами $S_{AB}/2$:

$$h = \rho_y - \sqrt{\rho_y^2 - \left(\frac{S_{AB}}{2}\right)^2}, \quad (3)$$

где $S_{AB} = \frac{d_o \cos \beta}{2 \cos \gamma \sin \alpha}$, $\rho_y = \frac{d_y}{2} + \frac{2T_o^2 \cos^2 \beta}{\pi^2 d_y}$.

Другой подход к идентификации тонкости отсева ТФС состоит в нахождении точек касания K, L, M цилиндров основы и утка шаром наибольшего диаметра, проходящего через криволинейный треугольник ABC (см. рис. 1) и попадающего в фильтр. Точки, образующие наименьшее сечение канала, через который пройдет шар с $d = \Delta$, лежат в плоскости KLM . Исходя из геометрии фильтровальных сеток полотняного переплетения, целесообразно рассмотрение задерживающей способности внутреннего канала в самом узком его сечении, образованном криволинейным треугольником ABC в плоскости PBN (см. рис. 1).

Тонкость отсева равна диаметру вписанной в криволинейный треугольник ABC окружности. При этом сторона AC рассматривается как часть эллипса, образованного сечением цилиндра основы плоскостью PBN под углом γ . При размещении начала координат в точке пересечения плоскости с осью цилиндра основы уравнение отрезка AC можно записать следующим образом:

$$x^2 + y^2 \cos^2 \gamma - \left(\frac{d_0}{2}\right)^2 = 0. \quad (4)$$

Для описания кривых AB и BC используется уравнение окружности. Привязка их к принятой системе координат позволяет описывать данные кривые следующим уравнением:

$$x^2 + y^2 - 2a_y x - 2b_y y + a_y^2 + b_y^2 - \rho_y^2 = 0, \quad (5)$$

где $a_y, \pm b_y$ – координаты центров кривизны кривых AB и BC ; ρ_y – радиус кривизны.

Учитывая, что рассматривается четвертая часть витка винтовой линии, можно допустить равенство радиуса винтовой линии и дуги, образуемой сечением цилиндра утка плоскостью PBN . В таком случае стороны криволинейного треугольника, примыкающего к проволокам утка, являются дугами окружности радиуса ρ_y . Расположение точек A, B и C известны. Они лежат на соответствующих окружностях. Координаты a_y и b_y находим совместным решением двух уравнений, полученных из (5) при подстановке вместо x и y соответствующих значений координат x_A, y_A и $x_B, y_B = 0$ точек A и B . Совместное рассмотрение их и преобразование позволяет исключить параметр b_y и получить квадратичное уравнение, решение которого относительно a_y приводит к результату:

$$a_y = \frac{\frac{T_0}{2} + \frac{\left(T_0^2 - d_0^2 \sin^2 \beta - \frac{d_y^2}{\sin^2 \gamma}\right)(T_0 - d_0 \sin \beta)}{\frac{4d_y^2}{\sin^2 \gamma}} + \sqrt{\left[\frac{\frac{T_0}{2} + \frac{\left(T_0^2 - d_0^2 \sin^2 \beta - \frac{d_y^2}{\sin^2 \gamma}\right)(T_0 - d_0 \sin \beta)}{\frac{4d_y^2}{\sin^2 \gamma}}\right]^2 - \left[1 + \frac{\left(\frac{T_0 - d_0 \sin \beta}{\frac{d_y}{\sin \gamma}}\right)^2\right] \left[\left(\frac{T_0^2 - d_0^2 \sin^2 \beta - \frac{d_y^2}{\sin^2 \gamma}}{\frac{4d_y}{\sin \gamma}}\right)^2 + \frac{T_0^2}{4} - \rho_y^2\right]}}{1 + \frac{\left(\frac{T_0 - d_0 \sin \beta}{\frac{d_y}{\sin \gamma}}\right)^2}$$

Переход от a_y к параметру b_y осуществляется путем раскрытия их связи, полученной при начальном рассмотрении вариантов уравнения (5), реализованных через координаты точек A и B . Ординату центра окружностей с дугами AB и BC находим по выражению

$$b_y = \frac{\frac{d_0}{4} \sin^2 \beta - \frac{T_0^4}{4} + \frac{d_y^2}{4 \sin^2 \gamma}}{\frac{d_y}{\sin \gamma}}.$$

Из условий решения уравнения (5) для окружности с удлинненным на $\Delta/2$ радиусом, проходящей через центр O'' с координатами $x_{O''} = \frac{d_o}{2} + \Delta$, $y_{O''} = 0$, получаем формулу для расчета тонкости отсева тканых сеток через параметры их геометрии:

$$\Delta = \frac{a_y^2 + b_y^2 - \rho_y^2 - a_y d_o + 0,25d_o^2}{\rho_y + a_y + 0,5d_o}. \quad (6)$$

Сравнение различных методик расчета тонкости отсева проводилось на отечественных и зарубежных ТФС прямого и обратного полотняного переплетения (таблица) с широкой гаммой фильтровальных показателей. Сетки обратного полотняного переплетения характеризуются тем, что у них тонкость отсева внутреннего задерживающего участка выше наружного¹. Следовательно, у этих сеток рассматриваемые показатели находятся в соотношении $\Delta < \Delta_n$.

Сетки с наружным расположением самого узкого сечения фильтровального канала, формируемого размером $d_y = \Delta_n$, чаще всего имеют тонкость отсева наружного фильтровального участка, близкую к значению внутреннего ($\Delta = 1,1\Delta_n$). Хотя имеются ТФС этого класса, у которых показатель Δ внутреннего участка значительно выше Δ_n наружного.

В таблице приведены экспериментальные Δ_3 и расчетные значения тонкости отсева Δ_1 , Δ_2 внутреннего задерживающего участка сеток, рассчитанные соответственно по формулам (2), (6). Показатель Δ_3 получен численным моделированием тонкости отсева по модели [2].

Результаты расчета тонкости отсева сеток полотняного переплетения
The results of calculation of the subtleties of dropouts plain weave plain

				Показатели тонкости отсева, мкм				
	d_o	d_y	T_o	Δ_3	Δ_n	Δ_1	Δ_2	Δ_3
Россия								
ОПВ-465	90	90	215	30	90	28,8	29,8	29,58
ОПВ-280	150	150	360	50	150	48,8	50,2	49,1
ПН-400	60	30	250	30	30	32,8	34,4	32,8
ПН-240	100	50	418	50	50	54,7	59	54,1
ПНМ-330	77	30	450	30	30	49,3	46,1	49,7
ПНМ-130	128	50	750	50	50	80,6	89,3	92,3
Н-300	60	60	370	40	60	42,8	46	42,8
П200	180	120	500	72	120	70,3	71,4	70,58
Англия								
280/70	210	90	363	42	90	39,2	44	41,9
Германия								
В35	110	35	250	37	35	35,5	36	36,1
В50	186	80	373	50	80	47,4	49,6	48,5
Франция								
280/1200	40	23,5	91	13	23,5	11,1	12,4	12,4
200/1000	40	28	127	18	28	17,7	21	17,7
100/700	70	40	254	35	40	33,6	35,2	35,5
80/560	90	50	317	44	50	42	44,3	43,6
60/400	120	60	423	60	60	56,2	59,5	59

¹ Рассматривается абсолютная тонкость отсева. Показатель Δ , характеризующий ее, соответствует диаметру частиц, задерживаемых с вероятностью 98 % при фильтровании суспензии через ТФС. Тонкость отсева и показатель Δ противоположно направлены. Поэтому с повышением тонкости отсева величина Δ уменьшается.

Если за эталон принять экспериментальное значение тонкости отсева (для сеток с внутренним задерживающим участком) и Δ_3 (для ТФС с внешним расположением самого узкого сечения фильтровального канала), то отклонение от него рассматриваемых показателей составляет 0,3–14,9 %.

В большинстве случаев расчетное значение тонкости отсева находится в поле рассеивания $\delta\Delta = 2\text{--}5$ мкм экспериментальных данных, определенных с доверительной вероятностью 95 %. Наибольшую погрешность расчета Δ по предлагаемой методике получены для сеток ПНМ-330 и ПНМ-130 с большим отношением (T_0 / d_0) шага нитей (проволок) от основы к ее диаметру. По точности расчета сравниваемые модели равноценны. Менее трудоемкий и самый простой расчет Δ реализуется по зависимости (2). Наибольшую точность дает модель, нацеленная на расчет показателя Δ_3 .

Выводы

1. Проведено исследование геометрии сеток полотняного переплетения, позволившее найти новые соотношения между параметрами прямо- и криволинейной поверхностей их поровых структур, которые позволяют значительно упростить идентификацию разделительной (отсеивающей) способности этих материалов.

2. Сопоставление расчетных, полученных по упрощенным моделям, и экспериментальных данных по тонкости отсева ТФС полотняного переплетения показало хорошую сходимость результатов определения разделительной способности этих ФМ. Расхождение показателей не превышает 15 %. Наиболее проста в реализации модель, полученная на базе трансформации поперечного сечения фильтровального канала в форме прямолинейного треугольника в криволинейный.

Список литературы

1. Кича, Г.П. Оптимизация и выбор параметров тканых сеток топливных и масляных самоочищающихся фильтров / Г.П. Кича, А.К. Артемьев, А.В. Надежкин // Двигателестроение. – 1984. – № 11. – С. 28–31.

2. Кича, Г.П. Идентификация разделительной способности тканых регенерируемых фильтровальных материалов нового поколения / Г.П. Кича, С.П. Бойко // Науч. проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 3. – С. 132–139.

3. Кича, Г.П. Тканые сетки оптимизированной структуры саморегенерирующихся фильтров для систем тонкой очистки моторного масла судовых дизелей / Г.П. Кича, Г.Г. Галстян, А.О. Варфоломеев // Исследования по вопросам повышения эффективности судостроения и судоремонта: сб. науч. тр. – Владивосток: ДВГТУ, 2010. – Вып. 48. – С. 164–176.

4. Кича, Г.П. Новые тканые материалы для саморегенерирующихся фильтров систем топливо- и маслоочистки судовых энергетических установок / Г.П. Кича, Г.Г. Галстян, В.В. Тарасов // Науч. проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2009. – № 2. – С. 209–231.

5. Кича, Г.П. Оптимизация поровой структуры фильтровальных сеток для очистки горюче-смазочных материалов на судах / Г.П. Кича, А.В. Надежкин, Г.Г. Галстян // Науч. проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – № 1. – С. 159–165.

6. Кича, Г.П. Новые инженерные решения в конструкциях саморегенерирующихся фильтров для очистки топлив и смазочных материалов на судах / Г.П. Кича, Н.К. Пак // Морские интеллектуальные технологии. – 2013. – № 1. – С. 56–61.

Сведения об авторе: Бойко Сергей Петрович, аспирант, e-mail: boykoland@mail.ru.