

## **ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ ТРИКОТАЖНЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ПЕРЕЛИВАНИЯ КРОВИ**

З. А. ВАДАЧКОРИЯ, Е.П. БУАДЗЕ

Кутаисский государственный университет им. Ак. Церетели

Е.П. КИЗИМЧУК

Киевский национальный университет технологий и дизайна

*У роботі розглянуто один із важливих показників фільтрів із трикотажних полотен для переливання крові – водопроникність. З цією метою вивчено 26 варіантів зразків, досліджено зразки з тромборезистентним покриттям. Визначено і рекомендовано кращі зразки, а саме 25 і 26 з тромборезистентним покриттям*

Поиск в области создания фильтров для переливания крови является одним из важных направлений в развитии исследований по созданию текстильных изделий медицинского назначения, поскольку переливание крови – один из главных и общедоступных лечебных методов. При этом может использоваться как донорская кровь, так и обратное переливание крови самого больного.

Фильтрация – процесс гидродинамический. Скорость переливания обратно пропорциональна сопротивлению, которое испытывает кровь при движении через поры фильтра и слой, образовавшийся в результате осадка на фильтре.

Для обеспечения большой скорости фильтрации, а значит непрерывного и постоянного поступления крови в сосудистую систему необходимо применить фильтры с большими просветами. Но, с другой стороны, такой фильтровальный материал не может дать высокую чистоту фильтрата. При использовании же мелкопористого материала достигается высокая степень фильтрации даже относительно микросгустков. Но в этом случае из-за малого размера пор резко снижается пропускная способность фильтра, его сопротивляемость, повышается гидравлическое сопротивление.

С целью увеличения пропускной способности мелкопористых фильтров повышают разницу в давлении крови над фильтром и под ним, это требует использования такого материала, который бы не менял свою форму и размеры пор.

В соответствии с вышесказанным определились основные медико-технические требования к фильтровальным материалам, применяемым при переливании крови [1]. Особенности процесса, фильтрации обуславливаются свойствами крови и фильтровального материала. Одним из основных показателей качества фильтровального материала для переливания крови является водопроницаемость.

### **Объекты и методы исследования**

Объектами исследования являются трикотажные полотна, изготовленные нами для фильтрации крови. Оценивать проницаемость фильтров различных переплетений и параметров с помощью крови нецелесообразно, поэтому в качестве аналога выбрана вода, несмотря на то, что вязкость ее примерно в пять раз меньше чем крови. Меньшая вязкость по сравнению с кровью позволяет получать более заметные колебания показателей, что является положительным фактором.

Водопроницаемость фильтровального материала зависит непосредственно от его пористости и деформации под давлением воды (в фильтре – крови). Для определения водопроницаемости

использовали методику, рекомендованную для текстильных материалов (для всех выработанных нами вариантов переплетений) [2].

### ***Постановка задачи***

Целью данной работы является исследование трикотажных фильтров предлагаемого переплетения на водопроницаемость.

### ***Результаты и их обсуждение***

Как было сказано выше, для определения водопроницаемости использовали методику, рекомендованную для текстильных материалов. С этой целью коэффициент водопроницаемости рассчитывали по формуле

$$B_g = \frac{V}{FT} \text{ (дм}^3\text{/м}^2\text{.сек),}$$

где  $T$  – время дождевания ( $T=60$  с);  $V$  – количество воды, проникшей через образец за 1 с, дм<sup>3</sup>;  $F$  – площадь образца, м<sup>2</sup>.

Значение  $B_g$  определено на дождевальной установке. Полученные значения  $B_g$  для исследуемых образцов приведены в табл. 1

**Таблица 1. Показатели коэффициента водопроницаемости**

Номер варианта	Коэффициент Водопроницаемости, дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> .с	№ варианта	Коэффициент водопроницаемости дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> .с
1	230	16	238
2	228	17	219
3	210	18	223
4	200	19	215
5	208	20	157
6	240	21	149
7	218	22	200
8	215	23	210
9	250	24	205
10	220	25	207
11	225	26	212
12	222	27	224
13	217	28	218
14	221	29	185
15	235		

Результаты показывают, что не всегда коэффициент водопроницаемости увеличивается с увеличением пористости. Наибольшее значение этого показателя при данной методике испытаний у образцов вариантов 6 (пористость 53%), 9 (70%), 16 (46%). С другой стороны, при пористости 69% у варианта 25 имеем  $B_g=207$  дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>.с. Наименьший коэффициент водопроницаемости связан, очевидно, с неравномерностью размеров пор и испытанием образцов без давления со стороны воды.

Образцы последних пяти вариантов, отличаясь малым размером пор, выделяются оптимальными значениями  $B_g$ , что характеризует их с положительной стороны. Так же с вариантами 4 и 7. В то же время показатели водопроницаемости последних пяти вариантов существенно отличаются (от 185 до 225). С целью оптимизации параметров такого трикотажа проведен эксперимент с использованием математического планирования. Исследованы те образцы, которые нами были использованы для оптимизации длин нитей в петлях грунта и утка в зависимости от натяжения нитей утка и грунта (табл.2).

Таблица 2. Матрица, результаты эксперимента и вычислений при поиске экстремума водопроницаемости

u	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1^2$	$X_2^2$	$X_1X_2$	$y_u$
1	+	-	-	+	+	+	216
2	+	+	-	+	+	-	200
3	+	-	+	+	+	-	202
4	+	+	+	+	+	+	198
5	+	-1,414	0	2	0	0	220
6	+	+1,414	0	2	0	0	189
7	+	0	-1,414	0	2	0	211
8	+	0	-1,414	0	2	0	196
9	+	0	0	0	0	0	206
10	+	0	0	0	0	0	209
11	+	0	0	0	0	0	203
12	+	0	0	0	0	0	202
13	+	0	0	0	0	0	210

В соответствии с ранее приведенными формулами проведем вычисления:

$$\sum_{u=1}^N y_u = 2657 ; \quad \sum_{u=1}^N x_{1u} y_u = -63,834 ; \quad \sum_{u=1}^N x_{2u} y_u = -37,21 ;$$

$$\sum_{u=1}^N x_{1u}^2 y_u = 1634 ; \quad \sum_{u=1}^N x_{2u}^2 y_u = 1630 ; \quad \sum_{u=1}^N x_{1u} x_{2u} y_u = 12 \cdot$$

В результате расчета коэффициентов регрессии имеем:

$$B_0 = 0,2 \cdot 2657 - 0,1(1634 + 1630) = 2,05;$$

$$B_1 = 0,125 (-63,8) = -7,98;$$

$$B_2 = 0,125 (-37,21) = -4,65;$$

$$B_{11} = 0,125 \cdot 1634 + 0,01875 \cdot 3264 - 0,1 \cdot 2657 = -0,25;$$

$$B_{22} = 0,125 \cdot 1630 + 0,01875 \cdot 3264 - 0,1 \cdot 2657 = 0,75;$$

$$B_{12} = 2 \cdot 0,125 \cdot 12 = 3,0.$$

Проверка значимости найденных коэффициентов показала, что все коэффициенты отличны от нуля. Тогда можно написать уравнение, связывающее водопроницаемость с натяжениями грунтовой и уточной нитей.

$$Y = 205 - 7,98x_1 - 4,65x_2 - 0,25x_1^2 - 0,75x_2^2 + 3,0x_1x_2.$$

Выясним адекватность этого уравнения опытным данным. Вычислим:

$$SS_{\text{ост}}=64,37; \quad SS_{\text{факт}}=50; \quad S^2(y)=12,5; \quad SS_{\text{ад}}=14,37; \quad S^2_{\text{ад}}(y)=4,79.$$

Тогда

$$F = \frac{S^2(y)}{S^2_{\text{ад}}(y)} = \frac{12,5}{4,79} = 2,61 < F_{\alpha}(f_y; f_{\text{ад}}) = 9,12.$$

Следовательно, рассматриваемое уравнение может быть применено для описания изучаемого процесса. Приведем уравнение к канонической форме.

Координаты начала новой системы

$$X_{1s} = \frac{-4,65 \cdot 3,0 - 2(7,98 - 0,75)}{4 \cdot 0,25 \cdot 0,75 - 32} = 3,14;$$

$$X_{2s} = \frac{-7,98(-0,75) - 2(4,65)(-0,25)}{4 \cdot 0,25 \cdot 0,75 - 32} = 0,44.$$

Значение водопроницаемости в начале системы координат равно:

$$Y=205,0-7,98 \cdot 3,14-4,65(-0,44)-0,25 \cdot 3,14^2-0,75(-0,44)^2+3,0 \cdot 3,4 \cdot (-0,44)=175,2.$$

Для освобождения уравнения регрессии от члена, содержащего взаимодействие переменных  $x_1, x_2$ , повернем оси на угол

$$\alpha = 0,5 \arctg \frac{3,0}{-0,25 + 0,75} = 0,7 \text{ рад} = 40^\circ, 3$$

Коэффициенты  $B_{11}$  и  $B_{22}$  канонического уравнения определяются вычислением

$$B_{ii} = \frac{(-0,25 - 0,75) \pm \sqrt{(-25 - 0,75)^2 - 4(0,25 \cdot 0,75 - 1,5^2)}}{2}$$

$$B_{11}=1,02 \quad B_{22}=-2,02$$

Исходное уравнение регрессии в канонической форме принимает вид:

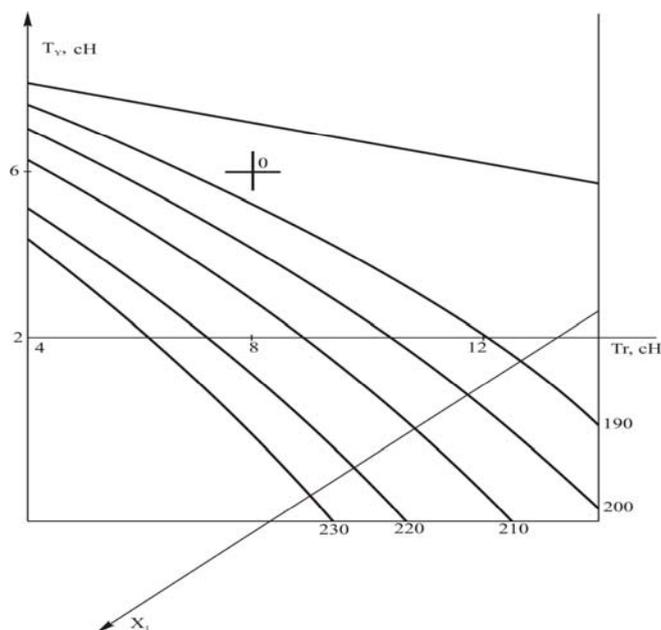
$$\frac{X_1^2}{y-175,2} - \frac{X_2^2}{y-175,2} = 1$$

$$\frac{X_1^2}{1,02} - \frac{X_2^2}{2,02} = 1$$

Центр  $S$  является минимумом. Величина водопроницаемости увеличивается при движении из  $S$  в направлении одной из осей и падает при движении в направлении другой оси. Если придадим выходному параметру  $y$  некоторые конкретные значения, получим контурные кривые равного уровня в форме гипербол. (рис. 1).

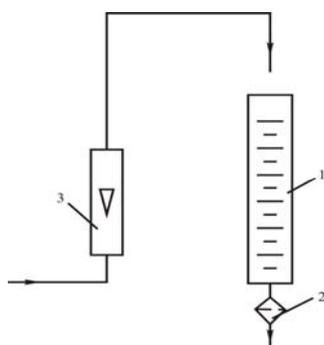
В зоне эксперимента (рис. 1) наибольшую водопроницаемость имеют образцы, выработанные при минимальном натяжении нитей грунта и среднем натяжении нитей утка.

Для дальнейших исследований мы выбрали варианты, удовлетворяющие требованиям к фильтрам в отношении размеров пор, имеющих максимальное число пор на единице площади, и, как следствие этого, лучшие показатели водопроницаемости.



**Рис.1. Зависимость водопроницаемости трикотажа пресс-уточного переплетения от натяжения нитей грунта и утка**

Отобранные для дальнейших испытаний образцы лавсанового полотна с различным переплетением нитей, отличающиеся пористостью и размерами пор, подвергались исследованию в соответствии со схемой рис 2.



**Рис.2. Схема прибора для испытания образцов на водопроницаемость**

На нижнем конце трубки 1 закреплен фильтр 2 (образец исследуемого полотна). По ротаметру 3 устанавливается расход воды 50 делений ( $Q=0,38$  л/мин), которая изливается в трубку 1 (с диаметром  $d_{\text{вн}}=122$ мм и миллиметровой градуировкой) и проходит через испытуемое полотно.

Для прохождения воды с указанной объемной скоростью в трубке 1 устанавливается столб воды определенной высоты  $H$  (измеренной в мм водяного столба) и соответствующих давлению  $P$  (мм водяного столба). По ротаметру 3 установлен расход воды 100 делений ( $Q=0,7$ л/мин) и определены значения  $H$  и  $P$ . По полученным значениям (табл.3) построены графики (рис.3).

Таблица 3. Значения  $H$  и  $P$

Параметры	Падение давления на образце $P, H$											Скорость потока, л/мин	Температура воды, $^{\circ}C$	
	Номер образца	26	25	4	3	5	6	7	26	25	3			бентли
Номер опыта	1	150	300	550	500	1350	650	470	220	320	350	120	0,7	
	2	150	300	470	450	1350	700	370	150	350	300	120	0,7	
	3	150	300	600	600	-	600	500	150	400	500	120	0,7	
	4	150	350	520	500	-	570	350	170	320	350	120	0,7	
	5	150	350	530	400	-	620	350	170	320	330	120	0,7	
Среднее значение		150	320	530	490	1350	630	410	170	340	360	120	0,7	10
	1	80	150	230	260	750	300	220	100	150	160	50	0,38	
	2	70	150	220	200	750	320	200	80	170	130	50	0,38	
	3	80	150	300	300	750	320	270	80	200	230	50	0,38	
	4	80	170	250	250	750	280	170	80	150	150	50	0,38	
	5	80	170	270	270	800	300	170	80	150	160	50	0,38	
Среднее значение		80	160	250	240	760	300	210	80	170	170	50	0,38	10

Номера вариантов соответствуют номерами в таблицах. Варианты 5 и 6 связаны из эластичного лавсана. Варианты 3<sup>1</sup>, 25<sup>1</sup> и 26<sup>1</sup> те же, что и 3, 25, 26 но покрыты тромборезистентным покрытием.

Результаты свидетельствуют о том, что наименьшую водопроницаемость имеют варианты 5,6,3,4 и 7, наибольшую – 1. Образцы, не имеющие тромборезистентного покрытия, плохо смачиваются водой.

Образец фирмы «Бентли» имеет наименьшее сопротивление прохождению воды.

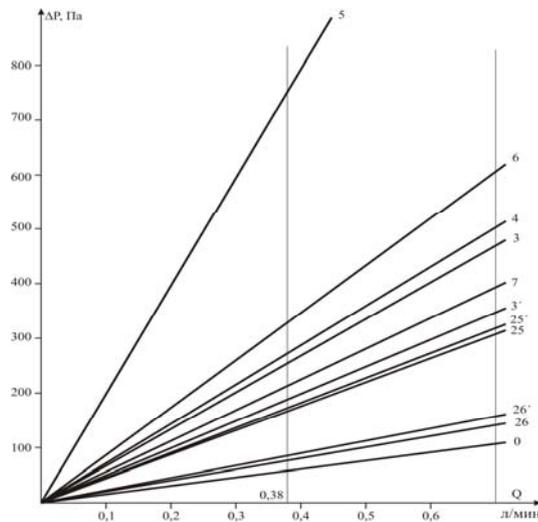


Рис.3. Зависимость перепада давления на образцах от объемной скорости воды

### **Выводы**

Из приведенных выше результатов можно сделать следующие выводы:

1. Из предложенных нами образцов могут быть отобраны варианты 25 и 26, по показателям пористости эти варианты также были лучшими. Вариант 25 имеет наибольшее число пор, причем в нем отсутствуют поры больше чем  $0,006 \text{ мм}^2$  и все поры имеют примерно равные размеры.
2. У варианта 26 размеры пор минимальные –  $0,002 \text{ мм}^2$  и количество их меньше, но полотно, связанное по данному образцу, обеспечивает достаточную для фильтров водопроницаемость.
3. Результаты показали также, что у образцов 25 и 26, имеющих тромборезистентное покрытие, сопротивление прохождению воды практически не изменилось, а у варианта 3 уменьшилось

### ЛИТЕРАТУРА

1. Сосуды для крови С ЕС СР ЕС Единые медико-технические требования. 22 марта 1982.
2. Кукин Г.Н., Соловьев А.И., Комбеков А.И. Текстильное материаловедение. – М.: Легпромбытиздат, 1989. с. 60–95

Надійшла 12.12.2008