

НОВЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ С ОРТОТРОПНОЙ СТРУКТУРОЙ ПОР

В.М. КАПЦЕВИЧ¹, В.В. ДОКТОРОВ², Д.И. КРИВАЛЬЦЕВИЧ¹,
В.К. КОРНЕЕВА¹, И.В. ЗАКРЕВСКИЙ¹

¹Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

В статье описывается новый подход к организации процесса очистки в ортотропных фильтрующих материалах. Обоснован выбор параметров фильтрующего материала с ортотропной структурой пор для реализации глубинного фильтрования.

In article the new approach to the organization of process of clearing in orthotropic filtering materials is described. The choice of parameters of a filtering material with orthotropic structure of pores for realization of deep filtering is proved.

Введение

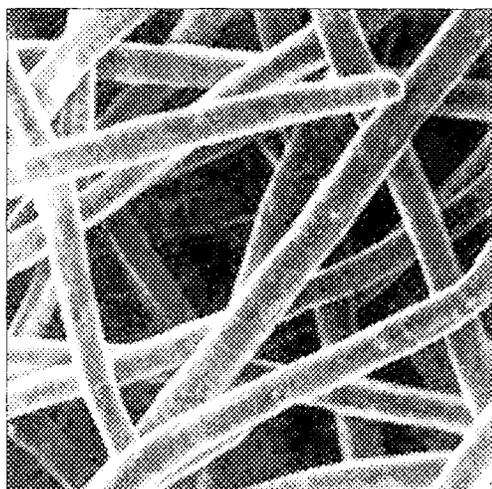
Фильтрующие материалы (ФМ) с переменным порораспределением, например, многослойные, у которых размеры пор или пористость изменяются в одном из направлений, совпадающим с направлением течения очищаемой среды, находят широкое применение в фильтровальной технике [1]. В таких материалах реализуется эффект глубинного фильтрования, что предопределяет их высокий ресурс работы и большую грязеемкость. Однако имеется большая группа ФМ, у которых структурные и гидродинамические свойства различны в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Причем, в каждом из этих направлений эти свойства можно считать постоянными. Такие ФМ относятся к классу ортотропных. Это – волокновые материалы (бумага, картон, войлок, спеченные металлические волокновые материалы и др.). Ортотропная структура пор в них формируется непосредственно в процессе изготовления, когда после формования – укладки и распределения волоконной массы на исходную подложку – следует последующая операция одноосного сжатия. В процессе сжатия волокна преимущественно ориентируются

в направлении перпендикулярном усилию сжатия. На рисунке 1 приведена структура спеченного волоконного материала в двух взаимно перпендикулярных направлениях: перпендикулярном и параллельном направлению усилия сжатия.

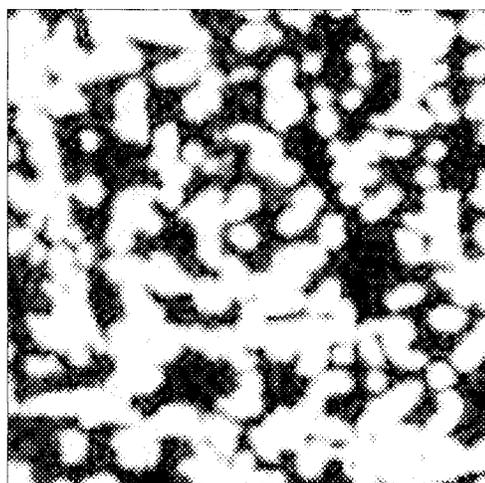
К материалам, в которых ортотропная структура пор может быть создана простыми техническими приемами или конструктивными решениями, относятся высокопористые ячеистые материалы (ВПЯМ), подвергнутые одноосному сжатию (рис. 2), и объемно-сетчатые материалы (ОСМ), полученные простым конструированием (укладкой стопкой) металлических сеток (рис. 3). У таких материалов структурные и гидродинамические свойства различны в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В деформированных ВПЯМ этими направлениями являются направления, параллельные усилию сжатия и перпендикулярные им, а для ОСМ – перпендикулярные и параллельные плоскостям укладки сеток.

Основная часть

Целью настоящей работы является разработка нового подхода к реализации процесса очистки

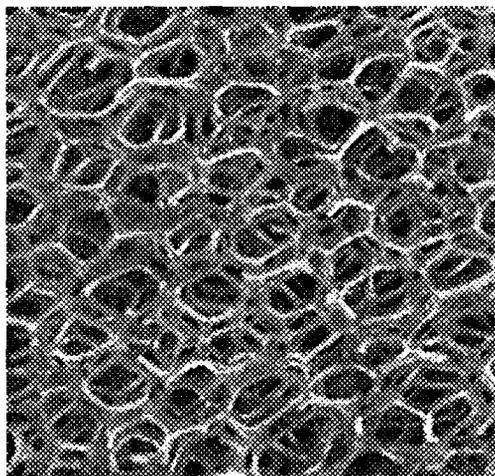


а

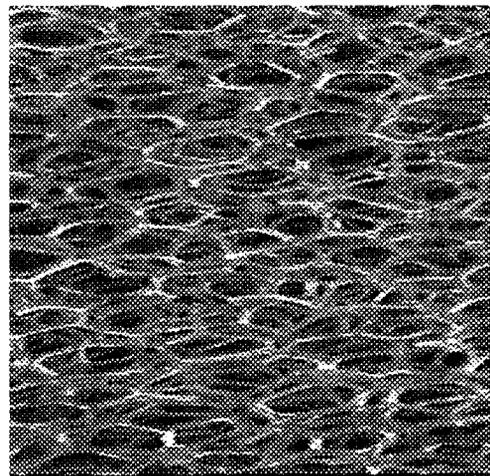


б

Рис. 1. Микроструктура медного волоконного материала в направлении перпендикулярном (а) и параллельном (б) усилию сжатия

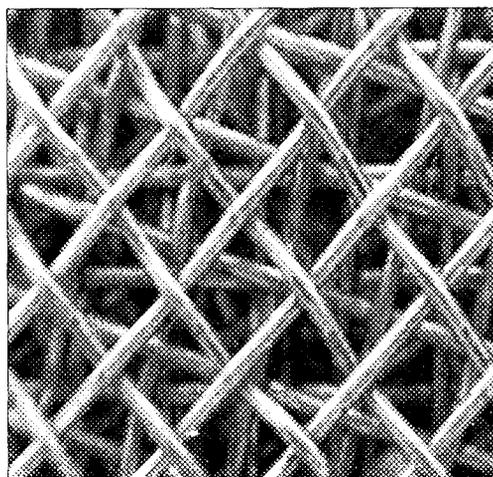


а

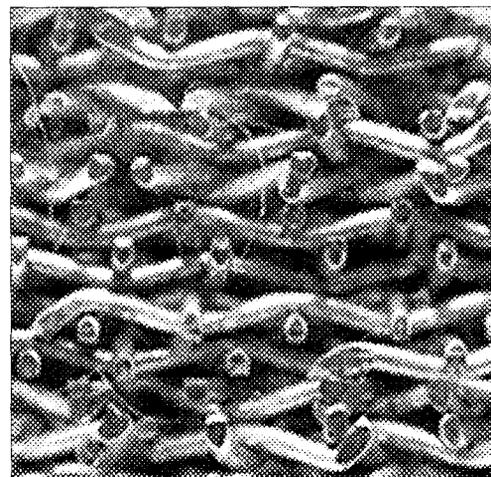


б

Рис. 2. Структура ВПЯМ, подвергнутого одноосному сжатию в направлении, параллельном (а) и перпендикулярном (б) усилию сжатия



а



б

Рис. 3. Структура ОСМ в направлении, перпендикулярном (а) параллельном (б) плоскости укладки сеток

с использованием ортотропных ФМ, позволяющего наметить пути эффективного использования их пористой структуры и реализовывать эффект глубинного фильтрования и многостадийной очистки.

В настоящее время при практическом использовании ортотропных волоконных, высокопористых ячеистых и объемно-сетчатых ФМ процесс фильтрования реализуется в направлении, перпендикулярном укладке волокон, пакета сеток или параллельном усилию сжатия ячеистого материала. При таком течении очищаемой жидкости она проходит только через крупные поры, а поры, расположенные в перпендикулярном направлении (более мелкие поры), в процессе очистки участия не принимают. В этом случае осуществляется одностадийная очистка, имеющая место в изотропных ФМ. При фильтровании через ФМ с изотропной структурой пор наибольшее количество загрязнений задерживается, как показано на рис. 4, на его входной поверхности. В результате при эксплуатации ФМ на этой поверхности быстро образуется слой из загрязне-

ний, который первоначально приводит к увеличению перепада давления, необходимого для фильтрования, а затем полностью блокирует доступ жидкости в ФМ.

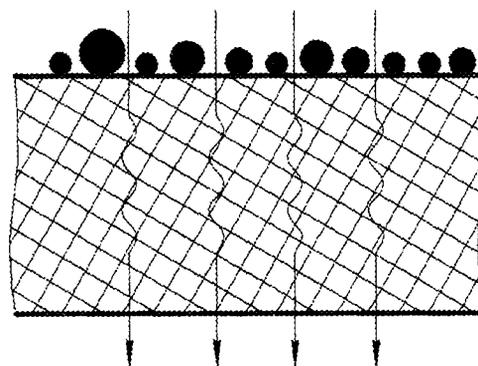


Рис. 4. Схема одностадийной очистки в изотропных ФМ

Во избежание таких процессов целесообразно применение ФМ, в которых задержка дисперсных частиц (загрязнений) осуществлялась бы преимущественно в его объеме (глубинное фильтрование). Реализовать глубинное фильтрование можно за счет использования ортотропных ФМ.

Предлагаемый новый подход к реализации процесса очистки в ортотропных ФМ основан на целенаправленной организации такой гидродинамики течения очищаемой жидкости, чтобы она первоначально проходила через крупные поры, в которых осуществляется предварительная очистка от крупных частиц загрязнений, а затем при прохождении через мелкие поры – окончательная очистка от мелких частиц.

Для объемно-сетчатых, волоконных и высокопористых ячеистых материалов на основе выделения элементарных ячеек из регулярной структуры ФМ построены математические модели [2, 3], описывающие их структурные и гидродинамические свойства. Математические модели позволяют прогнозировать свойства ортотропных ФМ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях XZ и YX. Для этих плоскостей размеры пор и коэффициенты проницаемости соответственно равны $d_{пxz}$, $d_{пyx}$ и k_{xz} , k_{yx} .

Рассмотрим более подробно схему движения очищаемой жидкости через ортотропный ФМ. Пусть перпендикулярно входной поверхности такого ФМ подается поток жидкости, содержащий дисперсные частицы диаметром d . В направлении, перпендикулярном поверхности, размер пор ФМ больше d , а в направлении, параллельном поверхности – меньше d (рис. 5).

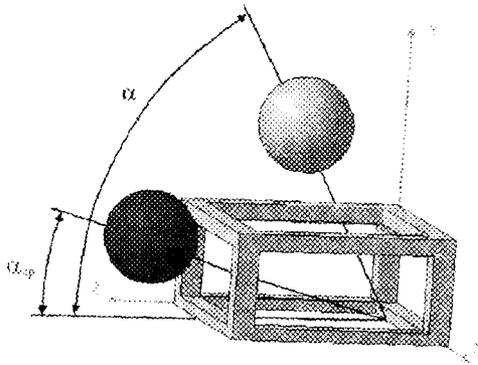


Рис. 5. Схематическое изображение взаимодействия ячейки ортотропного ФМ и частиц загрязнений

Из рисунка 5 следует, что для эффективного задержания частиц загрязнений необходимо изменить траекторию движения очищаемой жидкости, а следовательно, и загрязнений на определенный угол α . Тогда при движении жидкости, как показано на рис. 6а, при $\alpha = 0^\circ$ дисперсные частицы не будут задерживаться ФМ, а при движении жидкости перпендикулярно усилию сжатия, когда входная и выходная поверхности смещены на расстояние x_1 , частицы будут частично задерживаться ФМ (рис. 6б). Если целенаправленно изменить траекторию движения потока на угол α , отличный от нуля, и сместить входную и выходную поверхности на расстояние x_2 ($x_2 > x_1$), например, так, как это показано на рис. 6в, дисперсные частицы будут полностью задерживаться в объеме ФМ.

Для эффективного задержания частиц загрязнений необходимо определить оптимальное расстояние $x_{опт}$, характеризующее смещение входной и выходной поверхностей ортотропного ФМ друг относительно друга. Если в ФМ смещение между этими поверхностями меньше оптимального, то дисперсные частицы смогут проходить через крупные поры, двигаясь под некоторым углом относительно входной поверхности (рис. 6б). А в ФМ со смещением между этими поверхностями больше оптимального увеличится величина перепада давления, необходимого для реализации процесса фильтрования, а также габариты ФМ. Определим минимальное расстояние $x_{опт}$ и соответствующее минимальное значение угла $\alpha_{кр}$ между направлением любой линии тока и входной поверхностью, обеспечивающих полное задерживание частиц загрязнений ортотропным ФМ. Другими словами, при $x_{опт}$ дисперсная частица, двигаясь вдоль любой линии тока, обязательно пройдет какое-то минимальное расстояние под углом к входной поверхности, меньшим чем $\alpha_{кр}$, и будет задержана ФМ. Значение $\text{tg}\alpha_{кр}$ можно оценить как отношение минимального размера элементарной ячейки к максимальному (рис. 5). Очевидно, что $\alpha > \alpha_{кр}$, дисперсная частица беспрепятственно пройдет через ячейку, а $\alpha \leq \alpha_{кр}$ – нет. Поскольку размеры ячейки выбираются исходя из распределения дисперсных частиц по размерам, значения угла $\alpha_{кр}$ фактически определяются техническим заданием.

Установим, от каких параметров зависит смещение x .

Значение x не зависит от изменения удельного массового потока Q , который влияет только на перепад давления в ФМ и не приводит к изменению траектории движения жидкости.

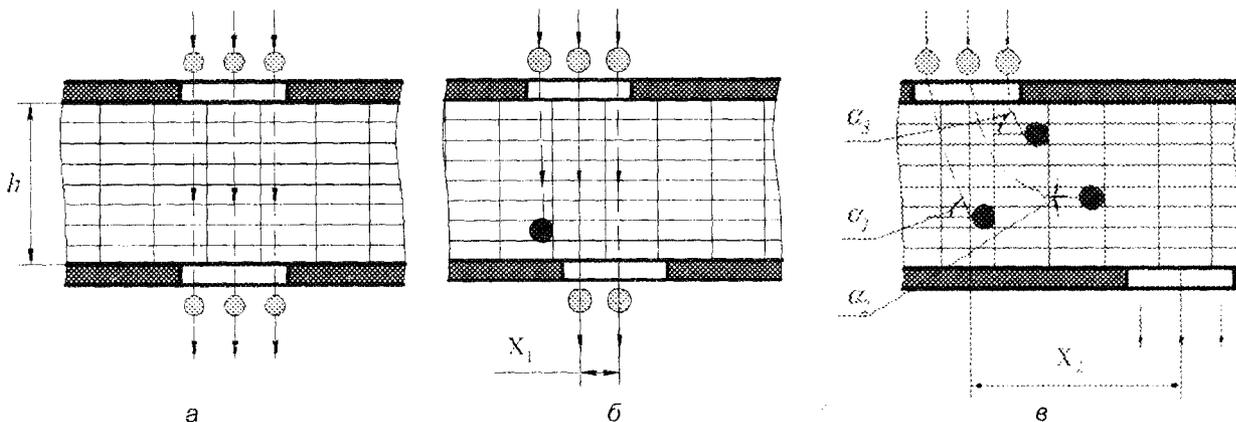


Рис. 6. Схемы движения дисперсных частиц в ортотропном ФМ

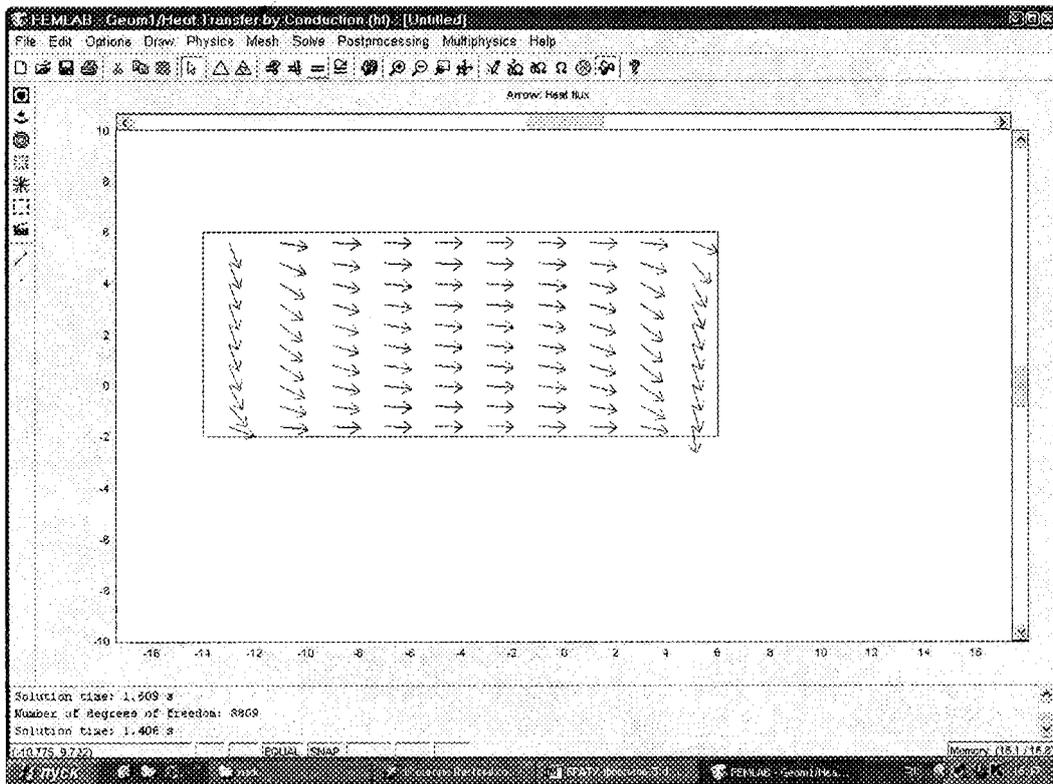


Рис. 7. Диалоговое окно программного комплекса FEMLAB (стрелки – линии тока, совпадающие с траекториями движения жидкости в ортотропном ФМ)

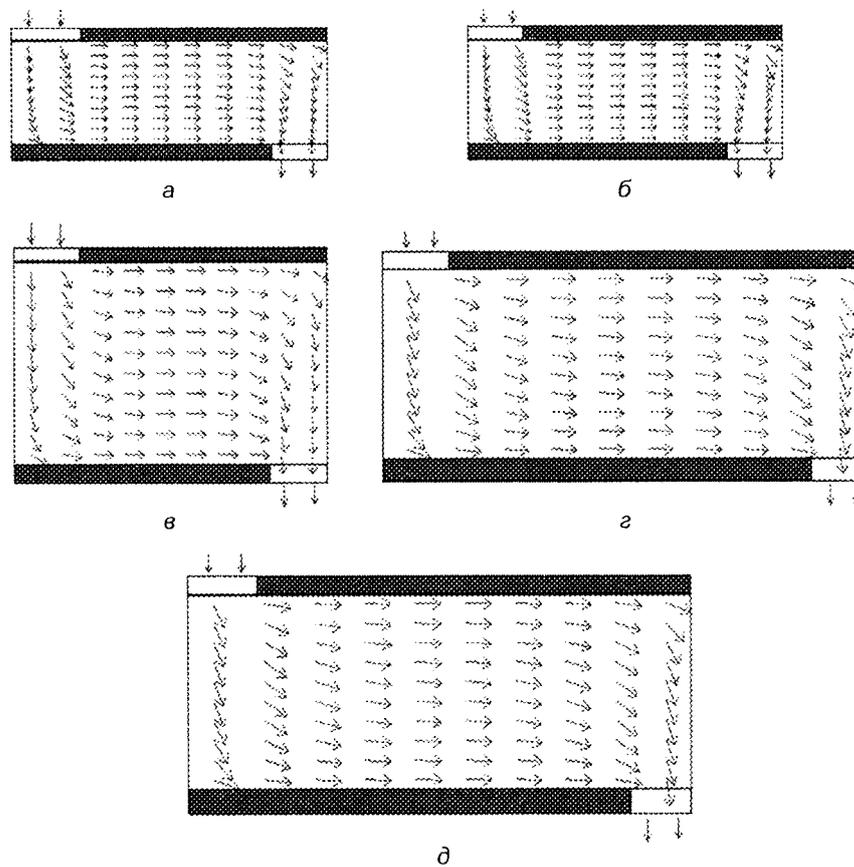


Рис. 8. Схемы траекторий движения очищаемой жидкости при отношении $k_x/k_y = 10$ (а, б); при увеличении высоты ФМ h в 2 раза (в); при увеличении высоты h и смещения x в 2 раза (г); при увеличении удельного массового потока Q в восемь раз (д)

Значение x зависит:

– от отношения коэффициентов проницаемости

стей k_{xz}/k_{yx} , а не от их абсолютных значений k_{xz} , k_{yx} .

– от отношения x/h (h – толщина фильтрующего материала), а не от их абсолютных значений x и h .

Анализ влияния удельного массового потока Q , отношения коэффициентов проницаемости k_{xz}/k_{yx} и отношения x/h на изменение траектории движения жидкости в ортотропном ФМ проводился с помощью программного комплекса FEMLAB (рис. 7). Результаты расчетов представлены в виде графических изображений линий тока, совпадающих с траекториями движения жидкости в ортотропном ФМ (рис. 8).

На рисунках 8а и 8б представлены направления линий тока в двух ортотропных ФМ, у которых коэффициенты проницаемости $k_{xz1} \neq k_{xz2}$ и $k_{yx1} \neq k_{yx2}$, а их отношение $k_{xz1}/k_{yx1} = k_{xz2}/k_{yx2} = 10$. На рисунке 8в представлено распределение линий тока ФМ, показанного на рисунке 8а, при увеличении его толщины h в два раза, а на рисунке 8г – при одновременном увеличении толщины h и смещения x в два раза. На рисунке 8д представлено направление линий тока в ФМ, показанного на рис. 8г, при увеличении удельного массового потока Q в восемь раз.

Анализ рис. 8 доказывает, что направление линий тока не зависит от изменения массового расхода Q , толщины фильтрующего материала h и абсолютных значений коэффициентов проницаемости k_{xz} и k_{yx} , а зависит от отношения коэффициентов проницаемости k_{xz}/k_{yx} и от отношения x/h .

Результаты расчета подтверждают, что при равных отношениях коэффициентов проницаемости k_{xz}/k_{yx} и отношениях линейных размеров x/h траектории потока жидкости подобны. Следовательно, если рассчитать траектории потока жидкости в одном ФМ,

расчет будет справедлив и для всех других ФМ с такими же отношениями геометрических размеров и коэффициентов проницаемости.

В качестве примера расчетов, проведенных с помощью программного комплекса FEMLAB, на рис. 9 представлена зависимость $x_{\text{опт}}$ от h для значения $k_{xz}/k_{yx} = 10$ при $\text{tg} \alpha = 0,1$.

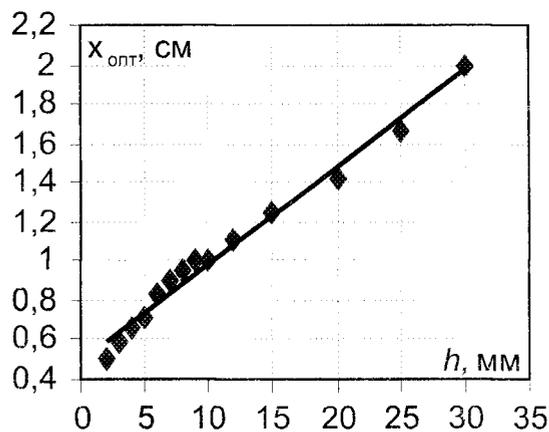


Рис. 9. Зависимость $x_{\text{опт}}$ от h при $\text{tg} \alpha = 0,1$

Заключение

Предложен новый подход к реализации процесса очистки в ортотропных ФМ, основанный на целенаправленной организации такой гидродинамики течения очищаемой жидкости, чтобы она первоначально проходила через крупные поры, в которых осуществляется предварительная очистка от крупных частиц загрязнений, а затем при прохождении через мелкие поры – окончательная очистка от мелких частиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капцевич, В.М. Создание эффективных методов регулирования порораспределения порошковых материалов для фильтрации жидкостей и газов / В.М. Капцевич. Минск: БелНИИТИ, 1989. 6–8 с.
2. Капцевич В.М. [и др.] Новые фильтрующие материалы и перспективы их применения. БГАТУ, 2008. 232 с.
3. Капцевич, В.М. Высокопористые анизотропные фильтрующие материалы / В.М. Капцевич [и др.] // Материалы докладов III международного симпозиума «Пористые порошковые материалы, технологии и изделия на их основе», 21–22 октября 2008 г., Минск. С. 77–91.