
ПРОТОЧНЫЙ МЕМБРАНЫЙ МОДУЛЬ С ТАНГЕНЦИАЛЬНО-РАДИАЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ЖИДКОСТИ

А.В. Тарасов, Ю.А. Федотов, М.И. Ильин, Ю.И. Яманов, С.А. Лепешин*

ООО НПП “Технофильтр” г. Владимир
*ООО НЦ “Полимерсервис” г. Владимир

Разработан мембранный фильтрующий модуль с тангенциально-радиальным движением жидкости над мембраной. В модуле обеспечиваются высокие линейные скорости течения жидкости при минимальном расходе. Рассмотрены конструктивные особенности модуля, гидродинамические исследования и практические приложения к процессам микрофильтрации.

Ключевые слова: модуль мембранный, микрофильтрация, канал, тангенциальный поток, концентрирование вирусов.

A membrane filtration module with a tangential-radial liquid flow over the membrane has been developed. The module provides high linear velocities of liquid at a minimal discharge. Design features, hydrodynamics data and practical application of the module in the microfiltration processes are discussed.

Keywords: membrane module, microfiltration, channel, tangential flow, concentration of viruses.

Коллоидные, кристаллические и биологические загрязнения мембран приводят к ухудшению их работы. Одним из эффективных способов борьбы с этим фактором является фильтрация с тангенциальными (перекрестными) потоками.

Целью настоящей работы являлось создание мембранного фильтрующего модуля (МФМ), в котором жидкость над мембраной движется с относительно высокой скоростью при минимальном расходе. Конструкция модуля должна позволять проводить регенерацию мембраны обратным током жидкости или воздуха.

В результате патентной проработки и проведения опытно-конструкторских работ была выбрана конструкция аппарата [1], элементы которого могут быть изготовлены на типовом механическом оборудовании или методом литья под давлением.

Конструкция аппарата обеспечивает структуру потока жидкости над мембраной, показанную на рис. 1.

Поток жидкости в напорной части аппарата (над мембраной) движется по концентрическим каналам, соединённым между собой переточными каналами

Поток жидкости многократно изменяет направление движения, причём в одном переточном канале он делится на два потока, а в следующем два потока объединяются в один. Такая структура потока жидкости позволяет интенсифицировать процесс массопереноса в пограничном слое мембраны и иметь минимальную толщину осадка на поверхности мембраны. Течение жидкости в каналах приближается к режиму вытеснения.

Принципиальная схема фрагмента модуля представлена на рис. 2. Мембрана (1) зажимает-

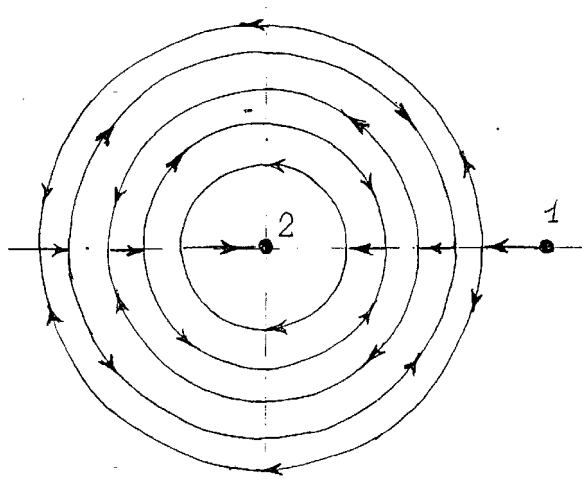


Рис. 1. Схема потока жидкости над мембраной

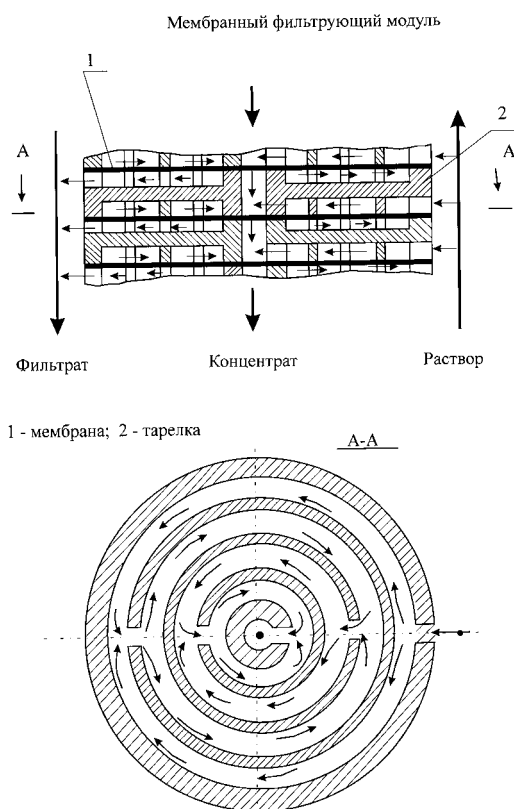


Рис. 2. Схема фрагмента модуля

ся между тарелками (2) с помощью нижней и верхней плит (на рисунке не показаны). Число тарелок является расчетным и зависит от постановки конкретной задачи.

На рис. 3 показана конструкция модуля МФМ-0142, имеющего одну мембрану. Данная конструкция может быть использована при пробных фильтрациях и при проведении анали-

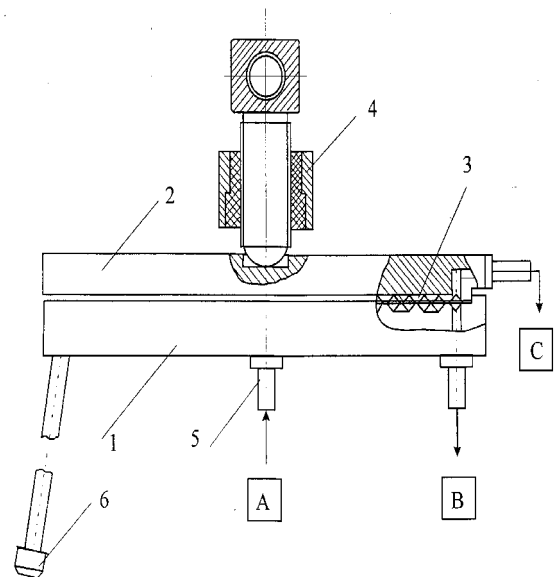


Рис. 3. 1 – нижняя тарелка; 2 – верхняя тарелка; 3 – мембрана; 4 – устройство зажима тарелок; 5 – штуцера; 6 – тренога

зов в химических, микробиологических и других лабораториях, а также при производстве уникальных продуктов в небольших количествах.

Между нижней (1) и верхней (2) тарелками помещается мембрана (3) с подложкой или без нее. Подложка может быть установлена при работе с повышенными давлениями. Тарелки стягиваются устройством (4). Зажимное устройство позволяет быстро производить сборку и разборку модуля с целью замены или чистки мембраны.

Рабочая поверхность мембраны $F = 0,01 \div 0,011 \text{ м}^2$.

Скорость подачи исходного раствора $10 \div 20 \text{ л/час}$.

На рис. 4. показана конструкция модуля МФМ-Т, состоящего из набора тарелок.

В зависимости от заданной поверхности фильтрации может быть набрано нужное количество тарелок ($10 \div 60 \text{ шт.}$) с площадью фильтрации $F = 0,1 \div 0,4 \text{ м}^2$.

Конструктивные особенности МФМ

Принципиальная конструкция модуля позволяет легко реализовать каналы над мембраной как с постоянной, так и с переменной (уменьшающейся) площадью сечения. При разработке мембранной установки с контуром циркуляции концентрата можно применить модуль с постоянным сечением каналов. В установках с однократным прохождением исходного раство-

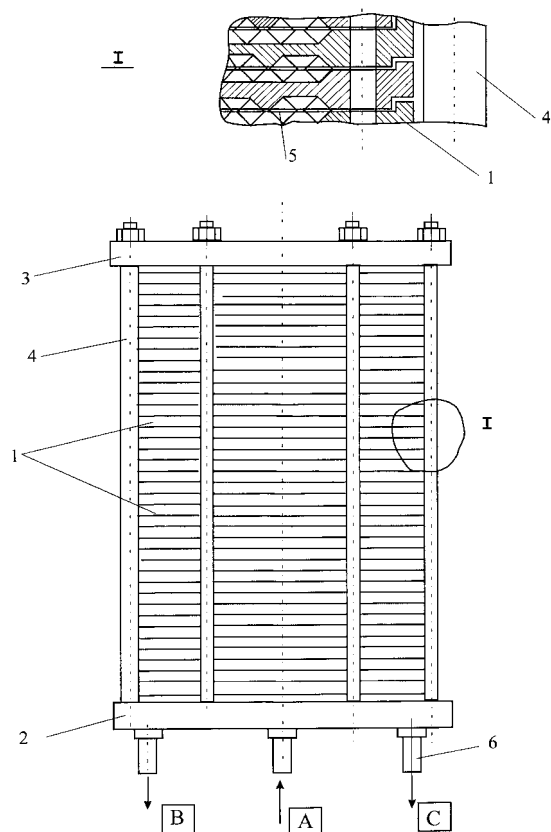


Рис. 4. 1 – тарелка; 2 – нижняя плита; 3 – верхняя плита; 4 – шпильки; 5 – мембрана; штуцера; А – вход раствора; В – выход раствора; С – выход фильтрата

ра через модуль целесообразно проектировать модуль с уменьшающимся сечением каналов.

Расчет сечений каналов осуществляется, исходя из сохранения постоянной линейной скорости течения жидкости вдоль канала над мембраной.

На рис. 5 представлены зависимости по кинетике фильтрации водопроводной воды (содержание $Fe_{общ} = 0,33$ мг/л), полученной на МФМ-0142 с постоянным (конструкция I) и с переменным (конструкция II) сечением каналов. В модуль устанавливалась микрофильтрационная полимерная мембрана ММК-0,65. Процесс фильтрации проводился при постоянном перепаде давления на мембране 0,1 МПа при температуре воды 10 °С. Исходный раствор проходил через модуль однократно. Расход концентрата на выходе изменялся во времени от 6 л/мин до 4 л/мин, исходного раствора от 18 л/мин до 7 л/мин.

Геометрические характеристики модулей следующие:

Конструкция I:
площадь фильтрации $F = 0,0111$ м²;

площадь сечения двух каналов $7,2 \cdot 10^{-6}$;
Конструкция II:
площадь фильтрации $F = 0,0107$ м²;
площадь сечения двух каналов на входе в модуль $S_1 = 1 \cdot 10^{-6}$ м²;
площадь сечения одного канала на выходе концентрата из модуля $S_5 = 0,5 \cdot 10^{-6}$ м²;

В разработанной нами конструкции площади сечения каналов распределяются на 5 участков (см. табл. 1).

Результаты, приведенные на рис. 5, показывают, что конструкция II модуля обеспечивает более высокие потоки q (проницаемость) по фильтрагу.

Гидродинамика в МФМ

Гидродинамика в МФМ исследовалась на лабораторном модуле МФМ-0142 при прокачке через его каналы воды при температуре 6 °С (динамическая вязкость $\mu = 1,5 \cdot 10^{-3}$ Па·с).

Геометрические характеристики модуля:

число каналов 8;
длина каналов 1,849 м;
эффективная (гидравлическая) длина каналов $L_3 = 0,925$ м;
эквивалентный диаметр канала

$d_3 = 1,16 \cdot 10^{-3}$ м;
площадь сечения канала $S = 3,6 \cdot 10^{-6}$ м²;
поверхность фильтрации $F = 0,0111$ м².

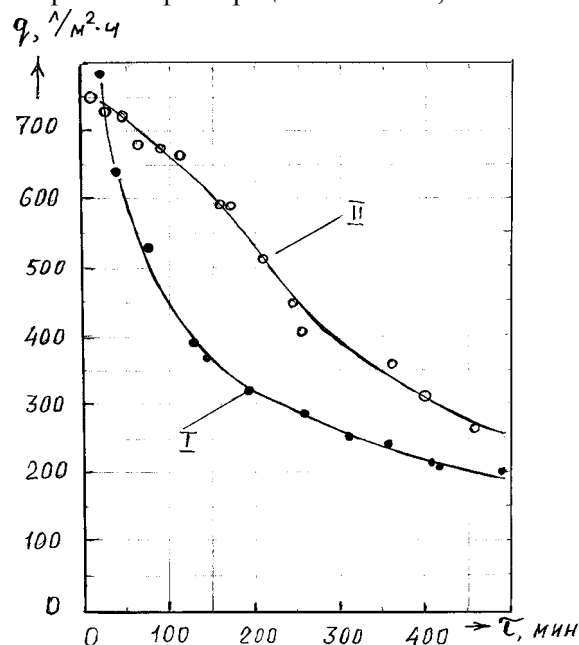


Рис. 5. Кинетика фильтрации в МФМ-0142 I-модуль с постоянным сечением каналов; II-модуль с переменным сечением каналов.

Таблица 1. Распределение площади сечения каналов по площади фильтрации

Площадь сечения каналов, мм ²	10	5	2	1	0,5
Площадь фильтрации, %	43,2	28,4	13,5	7,28	7,66

В экспериментах измерялся объемный расход V воды, проходящей через каналы модуля при закрытой линии фильтрата, и перепад давления ΔP на входе и выходе потока воды. Экспериментальные данные представлены в табл. 2.

Линейная скорость течения воды в каналах $U = V/2S$, число Рейнольдса $Re = Ud_3\rho/\mu$.

Обработка экспериментальных данных проводилась по эмпирическому уравнению[2]:

$$(1) \Delta P = \lambda \cdot (L_3 / d_3) \cdot 1/2 \cdot \rho U^2 (1),$$

где λ – коэффициент трения.

Обработка данных таблицы дает следующие результаты:

$$\lambda = 66,7 / Re^{1,03}, \quad Re < 1900 \text{ (ламинарный режим)} \quad (2),$$

$$\lambda = 0,18 / Re^{0,22} \quad 1900 < Re < 4000 \text{ (переходный режим)} \quad (3),$$

Для ламинарного течения жидкости в канале известна формула [2]:

$$\lambda = 64 / Re \quad (4),$$

которая практически совпадает с формулой (2). При проектировании модуля формулы (1) – (4) могут быть использованы для расчета перепада давления на модуле при любой заданной геометрии каналов.

Применение МФМ-0142 для концентрирования вирусов

В 2004 – 2005 годах МФМ – 0142 в комплексе с модифицированной микрофильтраци-

онной мембраной ММК - 0,2, разработанной в ООО НПП «Технофильтр», прошел испытания в НИИ ЭЧ и ГОС им. А.Н. Сысина в процессах выделения и концентрирования колифагов и вирусов[3].

Результаты исследований показали, что вне зависимости от концентрации колифагов и поливирусов в исходной воде, МФМ – 0142 обеспечивает 100% - ную их сорбцию при достаточно высокой эффективности элюции 80 – 89%. Аналогичные результаты были получены и при фильтрации речной воды, вод подземных источников и сточных вод.

На основе МФМ – 0142 разработаны установки, которые могут использоваться для концентрирования колифагов и вирусов.

Для фильтрации небольших количеств зараженной воды может быть использована установка, состоящая из расходной (напорной) емкости на 15 (10л) , компрессора, соединительных шлангов, запорной арматуры и собственно фильтрующего модуля. При фильтрации вода из расходной емкости под напором воздуха, создаваемым компрессором, подается на фильтрующий модуль, при этом часть концентрата через штуцер «В» может отбираться (0,2÷1%) в приемную емкость.

Элюция фагов и вирусов проводится путем смыва их с мембраны при продавливании элюента шприцем, присоединенным к смывной трубке (штуцеру «А») (рис. 3).

При фильтрации больших количеств воды может быть использован тарельчатый модуль МФМ-Т – 0142 с числом мембран 10÷30 шт., а компрессор с напорной емкостью заменяется насосом (рис. 6).

Разработанные установки просты и удобны в эксплуатации и не требуют высокой квалификации обслуживающего персонала.

Таблица 2. Объемный расход V воды, проходящей через каналы модуля при закрытой линии фильтрата, и перепад давления ΔP на входе и выходе потока воды

$U, \text{м/с}$	0,61	0,92	1,63	2,42	2,76	3,45	4,05	5,11
$\Delta P \cdot 10^{-5}$	0,22	0,34	0,50	0,80	1,0	1,5	2,0	3,0
Re	472	711	1260	1870	2130	2670	3130	3950
λ	0,148	0,101	0,047	0,034	0,033	0,0316	0,0306	0,0288

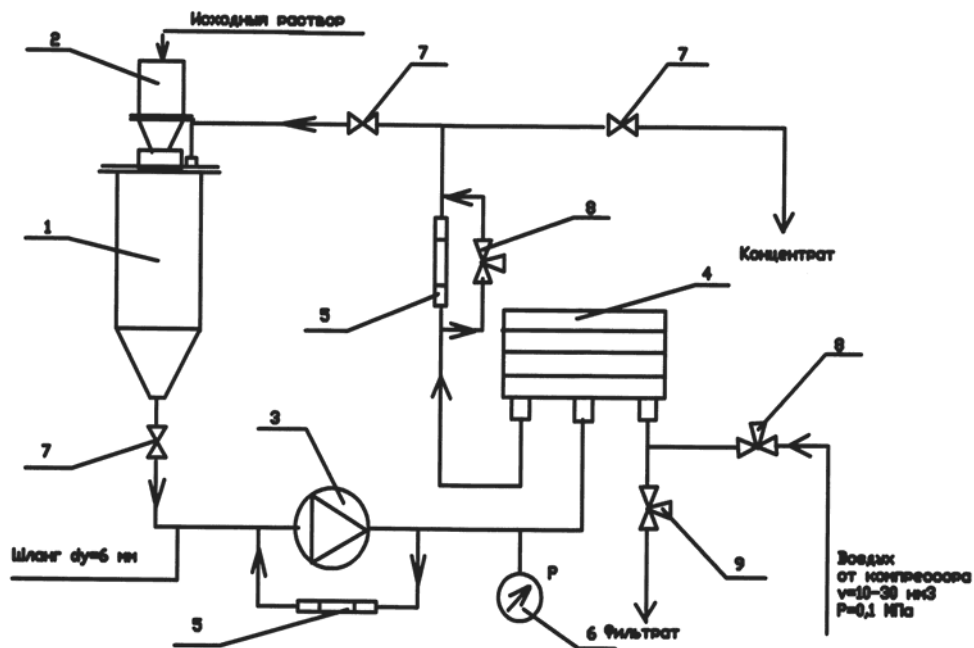


Рис. 6. 1 – емкость; 2 – воронка с сеткой; 3 – насос; 4 – мембранный модуль; 5 – пережимное устройство; 6 – манометр; 7 – шаровой кран; 8,9 – регулирующий кран.

Литература

1. Ильин М.И., Федотов Ю.А., Яманов Ю.И., Тарасов А.В.. Патент РФ № 2194566. Мембранный фильтрующий модуль.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Гос. научно-технич. издательство хим. литературы. М., 1960, 829 с.
3. Санамян А.Г., Дмитриева Р.А., Доскина Т.В., Недачин А.Е., Тарасов А.В., Федотов Ю.А.. Мембрана и мембранный модуль для вирусологического анализа воды. Крит. технол. Мембраны, 2005, №3, С.28-33